

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

MODELOVÁNÍ UMĚLÉHO ŽIVOTA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

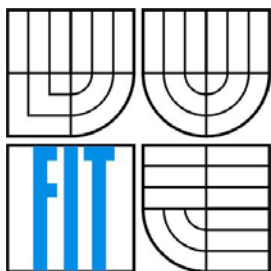
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ SLAVÍK

BRNO 2007



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

MODELOVÁNÍ UMĚLÉHO ŽIVOTA

ARTIFICIAL LIFE MODELLING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ SLAVÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK ZBOŘIL, Ph.D.

BRNO 2007

Abstrakt

Modelování umělého života je příliš obsáhlým tématem ke zpracování v jedné práci zvoleného rozsahu. Práce je tedy značně omezena a hlavní ideou se stává modelování lidského chování.

Předložená práce se zabývá vytvořením umělého agenta, jehož člověku podobné chování je implementováno dle referenčního modelu PECS. Neformální specifikace referenčního modelu PECS je zapsána pomocí programovacího jazyka Java do programu simulujícího chování umělé lidské bytosti v určitém prostředí.

Modelovaná lidská entita má za úkol napodobovat aktivitu lidí, adekvátně reagovat na podněty z okolí a měnit své prostředí v zájmu svých cílů. Modelovaná lidská entita se chová na základě vzorců chování (behaviorální chování), které jsou přiřazovány na základně její aktuální role.

Klíčová slova

Umělý život, modelování umělé lidské bytosti, referenční model PECS

Abstract

Artificial life modelling is an extensive subject to exert effort in one piece of work such as this work. For that reason this work is limited to keep the base line of modelling of human behavior.

Presented work deal with a creation of an artificial agent whose human-like behavior is implemented according to the PECS reference model. Specification of the PECS reference model is implemented in Java to build a simulation of artificial human being in some environment.

Modeled human being has been assigned to imitate human activities, react adequately to sensed events from the environment and change the environment to achieve its goals. Modeled human being is a behavior controled entity acting according to its current role.

Keywords

Artificial life, modelling of human behavior, reference model PECS

Citace

Jiří Slavík: Modelování umělého života, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2007

Modelování umělého života

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s pomocí a připomínkami vedoucího práce Ing. Františka Zbořila, Ph.D.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Jméno Příjmení
Datum

Poděkování

Poděkování patří všem osobám, které mě pomáhali při vytváření této práce, a to při kontrole a úpravě textu. Dále díky patří těm, kteří mě zodpovídali na otázky týkající se problému umělého života a svými připomínkami mě inspirovali k některým závěrům.

© Jiří Slavík, 2007.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Obsah	1
Úvod	3
1 Současný stav řešení problematiky	5
1.1 Pohled na studium umělého života v širším kontextu vědních oborů	5
1.1.1 Umělý život a základní teze umělého života	6
1.2 Historie umělého života	7
1.2.1 Období před vznikem počítačů a moderní elektroniky	7
1.2.2 Období let 1950 - 1970	8
1.2.3 Období let 1970 - 1990	8
1.2.4 Období let 1990 po současnost	9
1.3 Modelování lidského chování	9
2 Cíle práce	11
2.1 Model systému s umělou lidskou bytostí	11
2.2 Algoritmy pro řízení umělé lidské bytosti	12
2.3 Realizace agenta ve virtuálním prostředí	12
3 Použité prostředky a metodika práce	13
3.1 Model systému s umělou lidskou bytostí	13
3.2 Model umělé lidské bytosti	14
3.2.1 Umělá lidská bytost jako inteligentní agent	14
3.2.2 Řízení umělé lidské bytosti na základě referenčního modelu PECS	17
3.3 Volba programovacího jazyka a nástrojů	26
3.4 Cílová implementace	27
3.4.1 Implementace prostředí	27
3.4.2 Implementace prvků prostředí	28
3.4.3 Implementace umělé lidské bytosti	29
4 Výsledky	36
4.1 Provedení simulace	36
4.1.1 Sběr dat za běhu simulace	36
4.2 Nastavení při experimentu	37
4.2.1 Proveditelné akce	37
4.2.2 Vjemy z prostředí	38
4.3 Výsledky simulace	38
4.3.1 Změny vnitřního stavu	39
4.3.2 Průběh řídicích proměnných	39

4.3.3	Aktivity a vjemy	41
5	Závěr	43
	Literatura	44
	Seznam příloh	45

Úvod

Předložená diplomová práce je věnována tématu modelování umělého života. Modelování umělého života je snahou modelovat život, jak jej známe z dnešního pozorování. Práce se však omezuje pouze na modelování lidského chování. Omezení zaměření této práce vyplývá z faktu, že umělý život stejně jako ten skutečný v sobě obsahuje celou škálu jevů a procesů, které je možno jen stěží uvést v jediné všezahrnující práci.

Umělý život je studium života a životu podobných procesů prostřednictvím simulace a syntézy. Tyto procesy, pak slouží k dosažení různých cílů jako je modelovat život, vyvíjet aplikace používající intuici nebo jiné metody převzaté z přirozeného života nebo dokonce i vytvořit život (Snaha vytvořit život v čistě technologickém kontextu se někdy nazývá jako *strong artificial life*). Studium umělého života je populární možná právě pro jeho široký záběr. Zájem o umělý život přesahuje zájmy biologů, kde patříčné modely mohou vnést světlo do tradičního pojetí biologického fenoménu, ale také zasahuje do technických oborů, kde nabízí metody ke generování a kontrole chování komplexních systémů, což je těžko dosažitelné tradičními postupy. V neposlední řadě má v sobě umělý život mnoho aspektů zasahujících do oblastí kognitivních věd, ekonomiky nebo i umění a etiky. Mezi zájemci v této oblasti nepřevládá přílišná shoda co přesně umělý život je. Dokonce mnohé ústřední koncepty a hypotézy jsou velmi kontroverzní. Následkem toho se toto studium vyvíjí ze dne na den. Modelování lidského chování se zabývá modelováním chování lidské bytosti v sociálním prostředí. Lidská bytost je řízena svým vnitřním stavem a událostmi okolního prostředí. Lidské chování je vysoce komplexní ve své struktuře. Takové chování je ovlivněno fyzikálními, emocionálními, poznávacími a sociálními faktory. Lidská bytost je chápána jako psychosomatická jednotka s poznávací kapacitou, která je zasazená v sociálním prostředí.

Motivací snahy vytvořit model lidského chování pro mě byla touha vytvoření rozsáhlého modelu umělého života se všemi jeho aspekty. Pozorováním okolního života jsem jako živé systémy vnímal velkou škálu procesů od nejjednodušších biologických forem až po lidskou bytost. Právě složitost lidského bytí mě uchvátila natolik, že jsem se zaměřil právě na tuto část.

Tato diplomová práce navazuje na poznatky Bernda Schmidta, který ve své knize *Modelling of Human Behavior* [6] uvedl referenční model PECS (PECS model bude podrobněji vysvětlen v dalších částech diplomové práce). Zadaná problematika je v práci řešena právě na základě tohoto modelu a dále se práce snaží prověřit zda-li je uvedený referenční model realizovatelný a použitelný. Mimo referenčního modelu PECS je využito tradičních postupů pro tvorbu umělých agentů. Pro modelování lidské bytosti byl zvolen umělý agent. Další část této práce porovná základní paradigma umělých agentů s požadavky na umělou lidskou bytost. Snahou bude ukázat, že umělý agent, jak jej známe v dnešním pojetí, plně vyhovuje požadavkům modelování chování umělé lidské bytosti.

Diplomová práce si dává za cíl iniciovat zájemce o tuto problematiku k vytvoření sofistikovanějšího modelu s umělými lidskými bytostmi, které jsou plně integrovány ve virtuálním prostředí a jež na sebe vzájemně působí a vzájemně se ovlivňují. Práce pokládá základy takového prostředí a základní algoritmy pro řízení chování umělých lidských bytostí. Tato práce rozšířená patřičným směrem a podpořená statistickými daty sociologických, ekonomických a psychologických výzkumů může najít uplatnění nejen v zábavním průmyslu (při tvorbě autonomních agentů v různých počítačových hrách), ale i pro modelování praktických situací, kde vystupuje člověk, a kde modelování dané situace může odhalit výhody či nevýhody návrhu (např. v řešení hromadné městské dopravy, v urbanismu, apod.).

1 Současný stav řešení problematiky

Třebaže úvod této práce naznačil, že prvotním zaměřením práce bude modelování lidského chování, je namístě, aby byla vysvětlena problematika umělého života i v širším kontextu. Toto širší začlenění si dává za úkol tato kapitola pojednávající o současném stavu řešení problematiky. Mimo toto širší začlenění bude ukázáno, jakým způsobem je dnes možno modelovat lidské chování.

1.1 Pohled na studium umělého života v širším kontextu vědních oborů

Přístup k formulování principů umělého života se může značně lišit. Ústřední koncepty pravděpodobně vyvstaly z prvních intelektuálních aktivit člověka. V době, kdy člověk začal uvažovat sám o sobě a o svém zasazení v okolním světě a společnosti. Období takovýchto intelektuálních aktivit lze s těžší datovat, proto budou uvedeny první moderní koncepty, jejichž datace spadá převážně do minulého století.

V moderním pojetí sleduje umělý život dva cíle, a to prohlubování znalostí o přírodě a zdokonalení představy o umělých modelech, což by mělo umožnit zlepšení výkonnosti takových modelů. Charakteristika takového pojetí byla vyjádřena Ch. G. Langtonem jako poskytování metod pro vyšetřování života na Zemi, jak ho známe a rozšíření na výzkum života, jaký by mohl být.

Studium umělého života můžeme sledovat ve třech základních formách, jež odráží kontext vědního oboru, do něž je forma zasazena:

- hardwarová forma, jíž odpovídá studium robotiky, mechaniky a nanotechnologií,
- softwarová forma, jíž odpovídá studium počítačových oborů,
- wetwarová forma, jíž odpovídají oblasti biologie a chemie.

První moderní implementace pochází z dílny Johna von Neumanna, třebaže on sám ji tak neprezentoval. Jednalo se o stvoření samoreprodukující, výpočetně univerzální entity využívající celulární automat.

Další milníky moderního umělého života byly položeny otcem kybernetiky Norbertem Wienerem. Jeho dílo přineslo dva oddělené pohledy na studium životního procesu. Jednalo se o využití teorie informace a hlubokého studia samoregulačních procesů (homeostáza), považovaných za nepostradatelný rys života.

Biologie, jako věda zabývající se skutečným životem, poskytuje základní principy pro vývoj umělého života. Podoblasti biologie, které přispěly nejvíce k rozvoji studia umělého života jsou mikrobiologie, genetika, evoluční teorie, ekologie a vývoj (v biologickém kontextu). V současnosti existují dva hlavní směry na poli studia umělého života v biologii. Vytřibující se intuice o fungování

života ze studia skutečného života a využívání vypracovaných modelů, které byly původně vyvíjeny ke studiu specifických biologických fenoménů.

Nejrychleji se rozvíjející disciplínou mezi soudobými výzkumy umělého života je věda o počítačích (computer science; pojem informatika může být poněkud zavádějící). Základy tohoto odvětví jsou zakotveny v oboru umělé inteligence (AI - artificial intelligence). V kontrastu k AI studium umělého života využívá tzv. bottom-up modely (tedy modely od spodu nahoru), ve kterých se chování modelovaného systému odvíjí od počtu výpočetních etap. Zatímco tzv. modely top-down (tedy od shora dolů) se snaží popsat požadované chování přímo. V tomto smyslu studium umělého života sdílí mnohem více s aktivitami, které změnily tradiční pojetí umělé inteligence a kognitivních věd. Studium umělého života je tedy inspirováno robustními a flexibilními procesy, se kterými živoucí systémy generují užitečné komplexní struktury. Zejména pak některé postupy strojového učení, jako je například genetický algoritmus (poprvé představen Hollandem v roce 1975), se nyní zdají jako dobré příklady aplikace umělého života. Nové oblasti v počítačových vědách jako jsou evoluční a genetické algoritmy a autonomní agenti rapidně zesílily vztah počítačových věd ke studiu umělého života.

Matematika a fyzika mají také svůj nezanedbatelný podíl na rozvoji studia umělého života. Statistická mechanika a termodynamika se vždy relevantně uplatňovaly ve vztahu k živým formám. A to nejen v kontextu druhého zákona termodynamiky, který nabízí náhled na živoucí formy jako na systémy s přeměnou energie. Za zmínku takového náhledu stojí například teorie Ilji Prigogina - termodynamika rozptýlených struktur. Dále za zmínku stojí například statistická mechanika, která se využívá k analýze některých modelů používaných v aplikacích s prvky umělého života, které jsou dostatečně jednoduché a abstraktní, jako například náhodné Booleovské sítě (random Boolean networks). Teorie dynamických systémů přispívá k formulaci obecně použitelného chování v dynamických systémech. Fyzika a dynamické systémy stály u zrodu vývoje teorií o synergii a komplexních systémech.

V neposlední řadě se na konferencích věnovaných umělému životu, mimo výše uvedené oblasti, zmiňují výzkumy z oblasti chemie, psychologie, jazykověd, ekonomiky, sociologie, antropologie a filozofie.

1.1.1 Umělý život a základní teze umělého života

Odpověď na otázku co je umělý život je stejně těžko definovatelná jako odpověď na otázku co je život sám. Jako odpověď pro potřebu této diplomové práce přijmeme definici převzatou z článku Bonabeau a Theraulaz [2]: *Umělý život je všeobecná metoda, podstatou které je generovat z jednoduchých mikroskopických spolupracujících prvků takové chování na úrovni makroskopické, které je možno interpretovat jako projev života.*

I když se budeme dívat na modely umělého života z pohledu různých vědních disciplín, berme v potaz základní teze umělého života:

- Informace je podstatou života, nikoliv materiální forma. Materiální forma slouží jako nosič této informace a slouží k jejímu zpracování.
- Život se nachází v jisté míře složitosti. Schopnost struktury rozmnožovat se ve smyslu vytváření svých identických kopií i složitějších potomků je možná teprve až při dosažení určité mezní míry této složitosti.
- Informace v živých organismech má dvojí podobu: neinterpretovanou (informace, jež slouží rozmnožování) a interpretovanou (informace, jež slouží k vytváření struktury jedince).
- Prostředky vývoje směrem ke složitějším a dokonalejším strukturám jsou samoreprodukce, mutace a selekce. Takovýto vývoj se nazývá evoluce.
- Život je procesem syntézy, která probíhá zásadně směrem od zdola nahoru, tj. od elementárních primitiv řízených jednoduchými pravidly ke složitým strukturám vykazujícím složité chování.
- Vysoká míra paralelismu je v umělém životě dána dynamikou lokálních primitiv.
- Umělý život se vyznačuje jevem zvaným emergence. Emergence je jev, kdy dochází k úplně novým fenoménům chování systému, než je chování jednotlivých lokálních primitiv a jejich superpozice.
- Procesy umělého života probíhají bez centrálního řízení.
- Elementární primitiva vykazují nelineární chování, neplatí princip superpozice (tj. chování celku nelze odvodit složením dílčích chování primitiv).

1.2 Historie umělého života

Již zmiňovaná fascinace nad tím, že by lidským výtvorům byla dána schopnost života či života podobných mechanismů, sahají do dob, kdy člověk začal zaznamenávat svou činnost a roli v okolním prostředí a společnosti. První část této kapitoly uvedla v jakých vědních oborech se fenomén umělého života může objevit. Následující přehled naznačí milníky historie umělého života zejména v posledních dekadách a vyzdvihne koncepty, které nejvíce inspirovaly moderní výzkum umělého života.

1.2.1 Období před vznikem počítačů a moderní elektroniky

Toto období zaznamenává tvorbu automatů využívajících mechaniky, mechanických vlastností plynů a hydrauliky. Třebaže se v té době jednalo o velice sofistikované nástroje, teprve rozvoj počítačových věd umožnil prudký vzestup teoretického poznání, praktických experimentů a odborného přístupu na poli umělého života. Za zmínku však určitě stojí například práce francouzského inženýra a vynálezce Jacquese de Vaucansona, jemuž jsou připisovány první skutečné

roboty a vynález plně automatizovaného tkalcovského stavu datované již do 18. století. Mezi jeho práce patří konstrukce umělé kachny s nespočtem mechanických součástí, které tomuto umělému zvířeti umožňovali káchat, cákat vodu a podle tehdejších zpravodajů dokonce pít, jíst a trávit.

1.2.2 Období let 1950 - 1970

Jedním z nejranějších myslitelů moderního přístupu, který postuloval principy umělého života byl John von Neumann. Právě on definoval automat jako stroj, jehož chování postupuje podle logických pravidel z jednoho stavu do jiného kombinováním informace přicházející z vnějšího prostředí s informací pocházející z jeho vlastního programu. Přirozené organismy definoval jako systémy, které se řídí podobnými jednoduchými pravidly jako postulovaný automat. Dále vyslovil myšlenku samoreprodukujícího se stroje. Spolu se Stanislawem Ulamem rozvinul svou vizi kinematického modelu vytvořením prvního konceptu celulárního automatu.

Dalšími významnými osobnostmi tohoto období jsou Edward F. Moore, který navrhl umělé rostliny, které nebyly ničím jiným než stěhujícími se továrnami, které reprodukuje samy sebe. Mimo to mohly být naprogramovány k provádění některých operací jako je těžení čerstvé vody nebo sbírání minerálů z mořské vody.

Freeman Dyson v této době studoval myšlenku předvídatelného samoreplikujícího se stroje vyslaného prohledávat a využívat okolní planety a měsíce. V roce 1980 vznikla v americkém institutu NASA skupina zabývající se tímto konceptem (skupina nesla název Self-Replicating Systems Concept Team). Tato vědecká skupina vytvořila studii proveditelnosti samovolně se budující měsíční továrny.

John Horton Conway přišel v šedesátých letech s nejpopulárnějším celulárním automatem nazvaným Game of Life.

1.2.3 Období let 1970 - 1990

Období spadající do let 1970 až 1980 lze charakterizovat několika experimenty, které jejich autoři nabízeli jako aplikace na poli výzkumu umělého života a komplexních systémů.

Christopher Langton sestrojil v roce 1984 verzi samoreprodukujícího se celulárního automatu, který nazval Q-smyčky. Langtonovy Q-smyčky jsou ilustrací dvojí funkce informace. Q-smyčky ilustrují kopírování neinterpretované informace (genotyp) do potomka a charakterizují tvar a chování jedince prostřednictvím interpretované informace (fenotyp).

Mezi další milníky tohoto období stojí za zmínku práce Johna Hollanda o adaptaci přirozených a umělých systémů. John Holland pracoval v oblasti výzkumu genetického a evolučního algoritmu, výpočetních technik, které jsou nedílnou součástí mnoha systémů pro simulaci umělého života.

Zejména v osmdesátých letech v oblasti umělého života získali klíčové postavení mravenci. U mravenců lze pozorovat relativní jednoduchost jedince ve spojení se složitým kolektivním chováním.

Kolonie mravenců jsou schopny vyvíjet prostředky na kolektivní řešení úloh, jejichž složitost přesahuje schopnosti jedince. Na bázi mravenčích kolonií vznikla celá řada aplikací a experimentů.

1.2.4 Období let 1990 po současnost

Mezi nejpobulárnější aplikace z oblasti se v tomto období zařadil program *Tierra* od Toma Raye. Tento program má za úkol uskutečnit evoluci s otevřeným koncem, která umožňuje přežít nejúspěšnějším jedincům v měnícím se prostředí.

Mezi výzkumy prováděné v současnosti a navazující na koncepty celulárního automatu patří vývoj celulárního modelu umělého života. Tento projekt se zabývá vytvořením počítačové simulace biochemických systémů. Bezprostředním cílem tohoto projektu je porozumění vývoje buněk, kolektivní spolupráce vícebuněčných systémů a schopnost přetrvávání v měnícím se prostředí.

Vývoj umělého života je ovlivňován nejmodernějšími trendy zejména z oblasti multiagentních systémů a robotiky, jako je například robotika založená chování (behavior based robotics).

1.3 Modelování lidského chování

Zaměříme se nyní zpět na hlavní téma této práce, na modelování lidského chování. Současný stav modelování lidského chování se odvíjí z nejstarších filozofických děl o lidském poznání a lidském chování. Modelování lidského chování je úzce spjato se studiem psychologie, sociologie a ekonomiky. Filozofie a psychologie patří k disciplínám s hlubokou historií, sociologie je věda poměrně mladá, jejíž začlenění jako vědecké disciplíny je možno datovat až do období 19. století. Třebaže uvedené vědní obory jsou zásadní pro tvorbu konkrétních modelů lidského chování, jejich obsah je nad rámec této práce. Práce se zaměřuje na formalizaci modelování lidského chování bez širších poznatků uvedených disciplín.

Lidské chování je vysoce komplexní ve své struktuře. Takové chování je ovlivněno fyzikálními, emocionálními, poznávacími a sociálními faktory. Lidská bytost je chápána jako autonomní psychosomatická jednotka s poznávací kapacitou, která je zasazená v sociálním prostředí. Dle poznatků o autonomních inteligentních agentech je člověku podobné myšlení v současnosti jedním z nejhlubších problémů v oblasti umělé inteligence.

Základním pilířem této práce je referenční model PECS prezentovaný Bernardem Schmidtem. Hlavní myšlenkou, ze které Schmidt ve své práci [6] vychází, je přístup k modelování lidského chování bez využití existujících formálních jazyků jako je například UML a jemu podobné. Argumentem pro popis na bázi běžného jazyka je lepší porozumění modelům a jejich struktuře. Bernard Schmidt nabízí svůj referenční model PECS jako vyplnění mezery v tehdejšímu stavu poznatků, kde chyběl vhodný referenční model pro modelování lidského chování. Dle autora modelu [6]: *PECS nabízí řešení, kdy je nahrazen široce využívaný postup známý jako BDI architektury, které předpokládají racionální rozhodování.* Lidské chování však vykazuje jak

racionální, tak i často iracionální chování, což může být způsobeno například emocemi. Vzhledem k tomu, že tato diplomová práce je zaměřena hlavně na modelování lidského chování, nabízí Schmidtův model PECS lákavý přístup.

2 Cíle práce

V této kapitole jsou stanoveny cíle práce, jak byly naznačeny v úvodu. Cíle diplomové práce jsou zde formulovány podrobněji, jak vyplývají z poznatků soustředěných v předcházející kapitole a z autorových vlastních zkušeností a poznatků.

Cíle diplomové práce odpovídají zadání a je možno je rozdělit do několika částí.

2.1 Model systému s umělou lidskou bytostí

Jedním z cílů této diplomové práce bylo vytvoření systému, v němž existují formy autonomních umělých organismů. Systém by měl za úkol simulovat virtuální prostředí, v němž tyto umělé formy organismů napodobují procesy, které můžeme pozorovat například každý den, na cestě do práce. Komplexnost takového systému vyžaduje určitou mírou dekompozice, z čehož vyplývá například zaměření na jednotlivé umělé organismy. Z egocentrického úhlu pohledu lidských bytostí o své dokonalosti a složitosti vyvstala myšlenka zaměřit se na model s umělou lidskou bytostí.

Od takového modelu se očekává, že v něm existuje alespoň jedna taková umělá lidská bytost, která bude vykazovat následující vlastnosti:

- je řízena potřebami obdobnými těm, které pozorujeme u lidí,
- využívá promyšlených i nepromyšlených forem chování,
- vykazuje známky emergentního chování,
- aktuální chování umělé lidské bytosti je ovlivněno historií jejího života a zkušenostmi z předešlých aktivit,
- umělá lidská bytost se bude nacházet v situacích s vzájemně neslučitelnými motivy,
- aktuální chování umělé lidské bytosti bude ovlivněno emocemi a sociálními aspekty,
- umělá lidská bytost bude hrát svoji společenskou roli a sledovat cíle dané touto společenskou rolí,
- bude schopná učení a adaptace,
- bude schopna interakce s dalšími umělými bytostmi.

Dále se od modelu očekává, že bude věrně simulovat okolní prostředí, do nějž je umělá lidská bytost zasazena. Okolní prostředí jako dynamický, nedeterministický systém bude v sobě zahrnovat další subsystémy, které budou tento systém svoji existencí ovlivňovat a budou mít možnost interagovat s umělými lidskými bytostmi a vice versa.

Z výše uvedených bodů očekávaných vlastností lze vypožorovat, že dosažení cíle není snadným úkolem a rozsah dílčích problému zahrnuje celou škálu přístupů a metodik, které lze v rámci řešení využít.

2.2 Algoritmy pro řízení umělé lidské bytosti

Dalším dílčím cílem kromě vytvoření modelu systému s umělou lidskou bytostí, jejíž požadavky byly představeny v předešlé podkapitole, je navrhnout a vytvořit dostatečně sofistikované algoritmy pro řízení takovýchto umělých lidských bytostí a dále algoritmy pro běh simulace požadovaného systému. Celkově se za cíl pokládá softwarová realizace, respektive implementace požadovaných algoritmů v konkrétním programovacím jazyce.

Od navržených algoritmů se očekává jistá míra generalizace a schopného softwarového designu, který bude umožňovat další snadné rozšiřování modelu, specifikaci nových propracovanějších a konkrétnějších modelů lidských bytostí a jejich integraci v implementovaném systému. Dále si práce klade za cíl využít takových implementačních prostředků, aby dílčí části navržených algoritmů mohly být snadno doplněny nebo nahrazeny optimalizovanými nebo modernějšími algoritmy. Cílem řešení této části tedy není návrh a realizace konkrétní simulace (jako je například simulace života obyvatel v městské části Brno-střed), ale návrh a realizace základních programových struktur, které budou sloužit jako kostra pro realizaci konkrétních simulací, jejichž hlavními aktéry jsou umělé lidské bytosti.

Od výsledného řešení se očekává možnost vyjít vstříc požadavku vysokého stupně paralelizace procesů celého systému.

2.3 Realizace agenta ve virtuálním prostředí

Konečným cílem celého projektu je implementace umělé lidské bytosti ve zvoleném prostředí. Umělá lidská bytost prostřednictvím svých akcí může zvolené prostředí měnit a utvářet dle svých potřeb. V případě, že zvolené prostředí se bude dynamicky měnit, musí umělá lidská bytost na takové změny adekvátně reagovat a musí být schopna adaptace.

3 Použité prostředky a metodika práce

Tato kapitola je věnována podrobnému popisu použitých metod k realizaci cílů této diplomové práce. Kapitola podrobně popisuje použité techniky, prostředky, zařízení a sledované objekty. Dále kapitola vysvětluje postup při řešení jednotlivých cílů, posloupnost kroků při experimentech a výzkumu.

Jako prostředek k vypracování a dosažení zvolených cílů byl vybrán programovací jazyk, pomocí kterého byl napsán program, který modeluje navržený systém. Vytvoření kódu programu bylo postaveno na teoretických základech, s jejichž principy seznamují následující podkapitoly.

3.1 Model systému s umělou lidskou bytostí

Jedním z cílů předložené diplomové práce bylo simulovat virtuální prostředí, v němž existují umělé lidské bytosti. Takové virtuální prostředí se svými prvky lze z formálního hlediska definovat jako systém. Pro přesnost zde bude uvedena formální definice systému.

Pojmem systém se rozumí soubor prvků, ve kterém má každý prvek nějaký vztah k jinému prvku tohoto systému. Systém S je definován jako dvojice $S = \langle U, R \rangle$, tedy množina U (nazývaná též universum) prvků v systému a relace R (tzv. charakteristika) mezi prvky množiny U (universa). Pro další potřebu cílového modelu je vhodné uvědomit si, že každý systém se nachází v nějakém stavu. Stav systému je určen jeho strukturou a stavem prvků, které se v něm nachází. Bude-li existovat posloupnost stavů systému pro různé časové okamžiky, hovoříme o chování systému.

Cílem práce tedy je modelovat chování zvoleného systému. Jako prvky systému byly zvoleny umělé lidské bytosti a objekty, které běžně pozorujeme kolem sebe. Umělé lidské bytosti včetně zvolených objektů byly zavedeny v jisté prostředí. Toto prostředí má následující vlastnosti:

- je diskrétní,
- je dynamické,
- je nedeterministické a
- je neepizodní.

Prostředí je diskrétní, protože časová množina modelu je diskrétní. Dále je prostředí dynamické, což vyplývá z faktu že se prostředí může měnit i v době, kdy v něm jeho hlavní prvky, umělé lidské bytosti, nejednaly a prostředí neovlivňovaly. Prostředí je neepizodní, to znamená, že pro všechny situace je jeho vývoj závislý na předchozích stavech a prostředí se v žádné ze situací nevrací do nějakého počátečního stavu.

3.2 Model umělé lidské bytosti

Pro účely modelování umělé lidské bytosti byl zvolen následující postup: za prvé vhodně naprogramovat umělou lidskou bytost jako systém a za druhé vhodně zvolit nebo vybrat způsob řízení chování této umělé lidské bytosti.

Pro účely modelování různých systémů je vhodné přistupovat k modelovaným strukturám jako k objektům. Tento objektový přístup však není na místě pro uspokojení potřeby formalizovat umělou lidskou bytost. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl pro agentově orientovaný přístup. Třebaže objektový přístup nabízí nejpropracovanější abstrakci reality, je agent abstraktnější a disponuje několika důležitými vlastnostmi, které byly vyžadovány také od modelu umělé lidské bytosti. Tyto základní důležité vlastnosti jsou:

- autonomie (nezávislost na dalších agentech),
- existence v prostředí,
- senzorické a aktuační propojení s prostředím.

Kapitola 3.2.1 předkládá základní vlastnosti umělých agentů. Předložené základní vlastnosti umělých agentů mají za cíl ukázat vhodnost agentově orientovaného přístupu při tvorbě umělých lidských bytostí.

Druhým uvedeným problémem byla volba vhodného způsobu řízení chování umělé lidské bytosti. Třebaže existují nesčetné architektury agentů, které nabízí odlišné přístupy řízení chování agentů, bylo zapotřebí zaměřit se převážně na modelování lidského chování. Pro tento účel byl zvolen referenční model PECS. Způsob implementace na základě referenčního modelu PECS je vysvětlen v kapitole 3.2.2.

3.2.1 Umělá lidská bytost jako inteligentní agent

Modelem umělé lidské bytosti byl zvolen model inteligentního agenta. Následující část představí základní koncept inteligentních agentů a nabídne jejich model, tak aby vyhovoval modelu umělé lidské bytosti. Koncept agenta zásadně usnadnil přístup k vytvoření modelu umělé lidské bytosti.

Přijmeme definici agenta jako entitu zkonstruovanou za účelem kontinuálně a do jisté míry autonomně plnit své cíle v prostředí. Agent plní cíle na základě vnímání prostřednictvím senzorů a prováděním akcí prostřednictvím aktuátorů. Agent přitom ovlivňuje podmínky v prostředí tak, aby se přibližoval k plnění svých cílů. Analogie s lidskou bytostí je nasnadě, člověk také do jisté míry autonomně plní zvolené cíle ve svém prostředí. Pomocí smyslových orgánů vnímá prostředí a pomocí svých motorických schopností v něm provádí určité činnosti.

Architektury inteligentních agentů vycházejí z disciplín, které se v prvé řadě zabývali člověkem a jeho činnostmi nebo životními formami na Zemi. Tyto disciplíny jsou sociologie,

psychologie, biologie a filozofie. Vypovídací schopnost těchto oborů o činnosti člověka je natolik vysoká, že nabídnutý koncept umělé lidské bytosti zapadá do konceptu agenta.

Základní typy agentů lze rozdělit do několika skupin z hlediska složitosti organizace vnitřních komponent a racionality agentů:

- reaktivní agenti,
- deliberativní agenti,
- sociální agenti,
- hybridní agenti.

Reaktivní agenti mají nejjednodušší vnitřní architekturu. Tato architektura je tvořena několika paralelními procesy, které reprezentují několik druhů chování. Tyto procesy jsou spouštěny na základě podnětu z prostředí nebo z podnětu agentova vnitřního stavu, případně jejich kombinací. Agent nedisponuje modelem vnitřní reprezentace prostředí. Dále je možno reaktivní typ agenta rozdělit podle toho, zda uchovává záznam o svém vnitřním stavu. Agent bez vnitřního stavu se někdy označuje jako čistě reaktivní agent. Agent s vnitřním stavem se někdy označuje jako agent s modelem chování. Reaktivní agenti se nejčastěji realizují pomocí vrstvených architektur nebo pomocí tzv. subsumpční architektury.

Deliberativní agent si uchovává reprezentaci prostředí a vnitřních stavů, na jejichž základě vytváří plány pro svojí činnost. Vytvořené plány mohou mít hierarchické uspořádání a cíle mohou být ohodnoceny přiřazenou prioritou pro výběr adekvátního plánu. Nejčastější architektura deliberativních agentů je architektura založená na teorii BDI (Belief, Desire, Intention).

Sociálním agentem se chápe převážně agent, který komunikuje s jinými agenty ve vyšším komunikačním jazyce. Takový sociální agent rozšiřuje své poznatky prostředí o modely ostatních agentů, případně i model sama sebe v tomto společenství. Sociální agent interaguje se svými protějšky v zásadě na čtyřech úrovních. Jsou to koordinace, kooperace, kolaborace a komunikace. Důvodem sociální aktivity agenta je převážně to, že agent zpravidla disponuje omezenými schopnostmi, kompetencemi, časem, výpočetními a jinými prostředky, které potřebuje k dosažení svých cílů. Proto se agent zapojuje do výše uvedených čtyř úrovní sociální interakce, které mu pomáhají překlenout vlastní omezené možnosti a schopnosti.

Kombinací některé nebo všech výše uvedených architektur v jeden celek vzniká **hybridní agent**.

Od modelu umělé lidské bytosti, dle stanovených cílů práce, bylo vyžadováno, aby:

- byla řízena potřebami obdobnými těm, které pozorujeme u lidí,
- umělá lidská bytost využívala promyšlených i nepromyšlených forem chování,
- aktuální chování umělé lidské bytosti bylo ovlivněno emocemi a sociálními aspekty,
- umělá lidská bytost hrála svoji společenskou roli a sledovala cíle dané touto společenskou rolí.

Takto stanovené požadavky jednoznačně vedly k výběru hybridní architektury pro účel modelování umělé lidské bytosti. Z důvodu volby modelu umělé lidské bytosti bude dále v textu pro jednoduchost umělá lidská bytost označována jako agent.

Následující tabulka ukazuje vlastnosti inteligentních agentů a požadované vlastnosti modelu umělé lidské bytosti. Z porovnání plyne, že tyto vlastnosti se ve většině případů shodují. Proto je inteligentní agenta přijatelnou koncepcí pro účel modelování umělé lidské bytosti.

Tab. 1: Základní vlastnosti agentů a umělých lidských bytostí

<i>vlastnost</i>	<i>význam</i>	<i>požadováno u umělé lidské bytosti</i>
reaktivita	agent reaguje příhodně na změny prostředí	ano, příhodná reakce na změnu prostředí je zřejmá
autonomnost	uplatňuje kontrolu nad svými akcemi bez vnějšího řízení	ano, uvažíme-li, že člověk není dočasně vázán závazky či přímo řízen někým jiným v rámci své role
orientace na cíl	nereaguje pouze na změny prostředí	ano, očekává se, že člověk jedná za účelem dosažení svých cílů
dočasně spojitě chování	agent je kontinuálně běžící proces	ano
schopnost komunikace	komunikuje s okolními agenty	ano, člověk je ryze sociální bytost
schopnost učení	mění svoje chování na základě předchozích zkušeností	ano, člověk se chová na základě svých předchozích zkušeností
mobilita	je schopný přenášet sám sebe ze stroje na stroj	ne, mobilita v tomto smyslu není relevantní u člověka
flexibilita	akce agenta nejsou předem dané scénáře	ano, člověk nepostupuje pouze přesně podle předem daného scénáře, není-li přímo vázán nějakým protokolem pro konkrétní činnost
osobnost	agent disponuje "věrohodnými" osobnostními rysy a emocionálním stavem	ano, člověk vykazuje známky osobnostní i emoční

3.2.2 Řízení umělé lidské bytosti na základě referenčního modelu PECS

Za účelem řízení modelu umělé lidské bytosti byl vybrán referenční model PECS, popsáný v následující části.

PECS je víceúčelový referenční model určený k simulaci lidského chování v sociálním prostředí. Zvláštní důraz je kladen na emergentní chování, které je typické u formování skupin a společností v sociálním systému.

PECS v sobě skrývá spojení: fyzických podmínek, emocionálního stavu, poznávací schopnosti a sociálního statutu (**Physical conditions, Emotional state, Cognitive capabilities, Social status**).

PECS se snaží nahradit tzv. architekturu BDI (přesvědčení, touha, záměr - **Belief, Desire, Intention**). Tato architektura chápe lidskou bytost jako racionální, rozhodnou entitu. Omezení plynoucí z faktorů přesvědčení a záměru nejsou jednoduše přiměřené sofistikovaným modelům usilujícím o reálné sociální systémy.

V podstatě lze řízení chování rozdělit na dva způsoby. **Reaktivní chování** a **promyšlené chování**.

Reaktivní chování je řízeno pevnými pravidly. Tzn. že není třeba žádného explicitního myšlenkového procesu. Reaktivní chování lze dále členit podle předpokladů svého vystupování v architektuře modelu. Reaktivní chování lze tedy dále vnímat jako instinktivní chování, naučené chování, řízené kontrolované chování a emocionálně podmíněného chování.

Promyšlené chování nesleduje pevně daná pravidla, namísto toho je vytyčen nějaký cíl, kterého má být dosaženo. Prostřednictvím úvah, prací s modelem, zkoušením a testováním je založena sekvence akcí, které vedou k cíli.

Způsoby chování se postupně vyvinuly z chodu evoluce. Každý evoluční krok se projevuje přidáním rozšíření možností, a tudíž vede k lepší adaptaci a zvýšení šancí na přežití. Lidská bytost je dnes považována za nejvíce rozvinutý složitý organismus, který projevuje všechny formy řízení chování ve složitých interakcích s okolím.

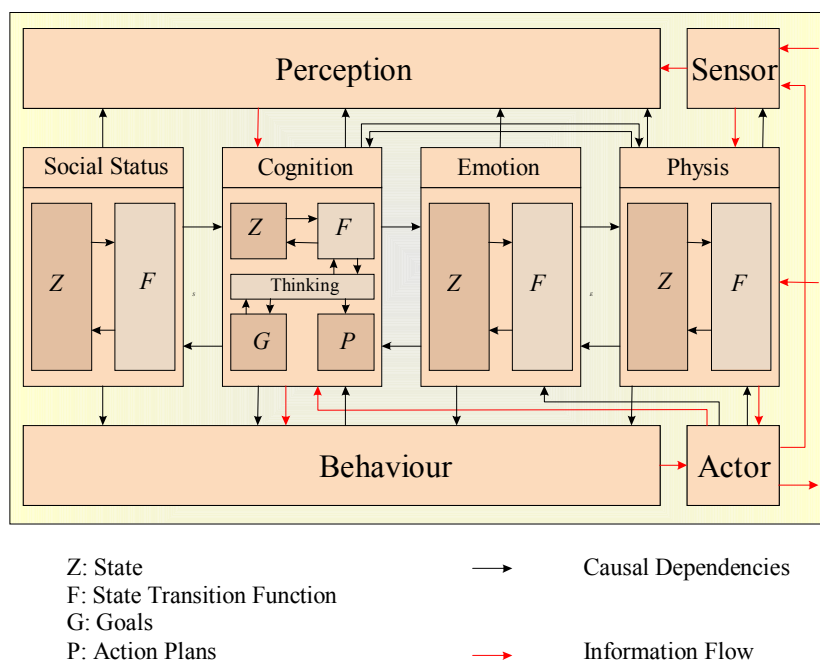
Modelování lidského chování

Za zamyšlení stojí mimo jiné fakt, zda snaha zkoumat lidskou bytost exaktně a zachytit přírodu v modelu je vůbec možné a jestli to není jen ukázka sebevědomé arogance lidského chápání okolního světa.

Vývoj modelu PECS je založen na přesvědčení, že je možné redukovat komplexitu prostředky pečlivého funkčního rozložení a zrušením vícevrstvé hodnoty pečlivým izolováním jednotlivých vrstev. Tím je myšleno, že nejdříve jsou studovány jednotlivé vrstvy a teprve potom jejich vzájemná interakce a souhra.

Autoři modelu PECS věří, že výše uvedená aproximace povede k hlubšímu porozumění lidského chování a udělá člověka pochopitelným.

Celková struktura vnitřní organizace agenta PECS je patrná na Obr. 1. Základní struktura je jasně rozpoznatelná, z hlediska teorie systémů jsou zřejmé části vstup, výstup a vnitřní struktura. Horní část s prvky *Perception* (vrstva vnímání) a *Sensor* (snímač, senzor) odpovídají vstupu systému. Tyto komponenty jsou odpovědné za příjem a prvotní zpracování informace z prostředí. Střední část s prvky *Social Status* (sociální statut), *Cognition* (poznávání), *Emotion* (emoce), *Physis* (fyzické vlastnosti) obsahuje stavové proměnné agenta, pravidla jak se tyto stavové proměnné mění a určení, které závislé proměnné determinují tyto změny. Dvě komponenty v dolní části schématu *Behaviour* (chování) a *Actor* (komponenta jednání) odpovídají výstupu tohoto systému. Komponenta *Behaviour* obsahuje množinu pravidel, která podmiňuje vykonávání akcí proveditelných prvkem *Actor*. Prvek *Actor* obsahuje úplný repertoár akcí, které je agent schopen provádět. Černé šipky reprezentují příčinné závislosti, například vnímání (komponenta *Perception*) je závislá na všech čtyřech typech stavových proměnných agenta. Červené šipky reprezentují tok informace, například tok informace ze senzoru (komponenta *Sensor*) do prvku vnímání (komponenta *Perception*) a následně do komponenty *Cognition* vyjadřuje jak nezpracovaná informace byla zaznamenána senzorem, poté předána komponentě vnímání, kde byla dále zpracována a následně předána komponentě *Cognition* k dalšímu zpracování.



Obr. 1 Struktura modelu agenta PECS

Řízení chování v modelu PECS

Obecně lze tvrdit, že každý organismus má jisté potřeby, které si přeje splnit. Během času evoluce konstantně vyvíjí zdokonalené a silnější formy řízení chování za účelem zajištění takových potřeb. Model PECS navrhuje následující členění řízení chování:

- **Reaktivní chování**
 - Instinktivní chování
 - Naučené chování
 - Tendencí kontrolované chování
 - Emocionálně podmíněné chování
- **Promyšlené chování**
 - Konstruktivní chování
 - Přemýšlivé chování

Modelování reaktivních forem chování

Pro reaktivní chování existuje množina pravidel, která mohou být aktivována v případě, že se objeví nějaká potřeba. Pro každé pravidlo existuje postup akcí, které mají být provedeny. Žádný myšlenkový proces není vyžadován.

Instinktivní chování se řídí jednoduchým vzorcem podnět-stav-reakce. To znamená, že pokud organismus zažije nějaký vnější podnět, reaguje v závislosti na vnitřním stavu automatickou reakcí. Jako vnější podnět může být chápán i vnitřní stav organismu.

Následující část kódu ilustruje, jakým způsobem bylo instinktivní chování implementováno v cílovém programovacím jazyce. Třída kontrolující instinktivní chování má za úkol vyhodnotit akci, která může být ve výsledku provedena. Níže uvedený úryvek kódu vyobrazuje implementaci metody *resolveAction()*, jejímž výstupem je třída reprezentující proveditelnou akci. Příklad ukazuje oba případy instinktivní reakce, reakce na vnitřní stav a reakce na událost vnějšího prostředí. V prvním případě je zvolená akce podmíněna kritickou hodnotou stavu vnitřní proměnné *energie*. To znamená, že modelovaná bytost je instinktivně řízena k provedení akce *jíst*. V druhém případě je zvolená akce podmíněna událostí prostředí *východ slunce*. Za dodržení jistých souvisejících okolností je výsledkem instinktivního řízení akce *probuzení se ze spánku*. Konkrétní realizace byla vytvořena tak, že pokud žádná vnější událost ani vnitřní stav modelované bytosti nebo kombinace obojího nevytváří žádné pravidlo pro spuštění instinktivně řízené akce, metoda vyhodnocující akci k provedení nevrací žádnou akci k provedení.

```

public class JRWcCommonAgentInstinctiveBehavioursController {
    ...
    private JRWcCommonAgent fAgent;
    ...
    public JRWnCommonAgentAction resolveAction() {
        if (fAgent.getCurrentAgentState().getAgentPhysis().getEnergy().
            isCriticalLow()){
            return JRWnCommonAgentAction.ACT_EATING;
        }
        if (fAgent.getAgentSensor().getEvent().equals
            (JRWnCommonAgentEvent.EVENT_SUNRISE) &&
            JRWnCommonAgentAction.ACT_SLEEPING.equals(
                fAgent.getCurrentAgentAction())){
            return JRWnCommonAgentAction.ACT_WAKE_UP;
        }
        ...
        return null;
    }
    ...
}

```

Naučené chování má stejnou podstatu jako instinktivní chování s tím rozdílem, že pravidla jsou postupně získávána. Dobrým příkladem může být reakce řidiče na náhle vstupujícího chodce do vozovky. Řidič instinktivně brzdí, ale toto chování neměl vrozeno, nýbrž si jej osvojil během ježdění automobilem.

V současné verzi řešení diplomového projektu nebyla forma řízení chování na základě naučeného chování implementována. Do příští verze bylo navrženo vytvoření obdobného kontroléru jako pro modelování instinktivního chování. Na rozdíl od kontroléru instinktivního chování bude tento kontrolér schopen rozšiřovat množinu pravidel o další pravidla pomocí komunikace s jednotkou provádějící akce, senzorickou jednotkou a s jednotkou sledování vnitřního stavu agenta.

Při **tendenci kontrolovaném chování (drive controlled behavior)** se na rozdíl od instinktivního chování při uspokojení potřeb berou v úvahu priority. Dalším rozdílem je, že organismus již není závislý na stimulu z vnějšího prostředí, který nemůže ovlivnit. Řízení vnitřními pochody může vyhledávat situace, které umožňují uspokojení potřeb. Důležitým faktem zůstává rozlišení mezi nižšími potřebami a těmi více důležitými, které mají větší intenzitu. Tendenci kontrolované chování s odpovídající intenzitou může být přiděleno všem potřebám.

Následuje ukázka implementace, kterou bylo řešeno modelování chování, kdy agent má tendenci konat rozdílnými způsoby. Třída kontrolující tento model chování implementuje metodu

resolveAction(), která má za úkol vyhodnotit jaká akce bude nabídnuta k provedení. Příklad uvádí, jak jsou postupně počítané intenzity jednotlivých tendencí, ke kterými agent tíhne a jak nejvyšší intenzita určité tendence ovlivňuje volbu akce. Jak je patrné, cílová implementace upřednostňuje jisté tendence, bude-li hodnota intenzity stejná.

Za zmínku dále stojí metoda vyhodnocení intenzity, jejíž implementace se řídila následujícím pravidlem: $T = f(N, E, X)$. Znaky vystupující v tomto pravidle mají následující význam: T je intenzita tendenčního chování, hodnota N vyjadřuje potřebu, E v sobě zahrnuje vlivy prostředí a X vyjadřuje libovolné další relevantní vlivy, f je funkce intenzity tendence k určitému způsobu chování.

```
public class JRWcCommonAgentDriveControlledBehaviourController {
    ...
    JRWcCommonAgent fCommonAgent;
    ...

    public JRWnCommonAgentAction resolveAction() {
        JRWnCommonAgentAction retVal = null;
        int locHighestDriveIntenzity = 0;
        ...
        int locDriveForHunger = resolveDriveIntenzityHunger(locNeed,
                                                            locEnvInfluence,
                                                            locOtherInfluences);
        if (locDriveForHunger > 0){
            retVal = JRWnCommonAgentAction.ACT_EATING;
            locHighestDriveIntenzity = locDriveForHunger;
        }
        ...
        int locDriveForFoodSupply = resolveDriveForFoodSupply(locNeed,
                                                            locEnvInfluence,
                                                            locOtherInfluences);
        if (locDriveForFoodSupply > locHighestDriveIntenzity){
            retVal = JRWnCommonAgentAction.ACT_GO_SHOPPING_FOOD;
            locHighestDriveIntenzity = locDriveForFoodSupply;
        }
        ...
        return retVal;
    }
    ...
}
```

Emocionálně podmíněné chování se podobá tendenci kontrolovanému chování, ale stimulace nepochází z vnitřního stavu organismu. Emocionální podněty přicházejí z vnějšího prostředí a předem předpokládají poznávací proces. Stejně jako řízené chování emoce podněcují k provedení akce. Příkladem elementárních emocí můžou být strach, smutek, zloba, závist, láska, apod. Vyhodnocování emocí je závislé na individualitě.

Pro emotivní chování stejně jako pro tendenci řízené chování existují pevně stanovená pravidla, která jsou zodpovědná za provedení nějaké příslušné akce.

Níže uvedená část kódu programu jednoznačně ilustruje implementaci takového řízení chování. Vzhledem k podobnosti s výše uvedeným tendencemi řízeným chováním postačí upozornit na fakt, že emotivní jednání je podmíněno událostí vnějšího prostředí, a proto je v prvé řadě vyhodnocena událost na senzoru agenta. Této události je pak přiřazen určitý význam. Výpočet příslušné intenzity každé emoci je vyhodnocován podle pravidla: $E = g(I, A, X)$. Funkce intenzity g je závislá na důležitosti události I , dále na posudku A a konečně na blíže nespecifikovaných relevantních vlivech X . Ve verzi kódu publikovaného s touto diplomovou prací nebyly parametry A a X vyhodnocovány.

```
public class JRWcCommonAgentEmotionallyControlledBehaviourController {
    ...
    JRWcCommonAgent fCommonAgent;
    ...

    public JRWnCommonAgentAction resolveAction() {
        JRWnCommonAgentAction retVal = null;
        ...
        JRWnCommonAgentEvent locSensedEvent = fCommonAgent.
            getAgentSensor().getEvent();
        ...
        int locHighestEmotionalIntenzity = 0;
        ...
        int locFearIntenzity = resolveEmotionalIntenzityFear(
            locImportanceOfEvent);
        if (locFearIntenzity > 0){
            retVal = JRWnCommonAgentAction.ACT_ESCAPE;
            locHighestEmotionalIntenzity = locFearIntenzity;
        }
        ...
        int locCuriosityIntenzity = resolveEmotionalIntenzityCuriosity(
            locImportanceOfEvent);
        if (locCuriosityIntenzity > locHighestEmotionalIntenzity){
```

```

        retVal = JRWnCommonAgentAction.ACT_OBSERVING;
        locHighestEmotionalIntenzity = locCuriosityIntenzity;
    }
    ...
    return retVal;
}
...
}

```

Modelování promyšlených forem chování

Promyšlené formy chování se týkají vědomého usilování o dosažení požadovaného cíle. Reaktivní formy chování nejsou vědomé a cíl nebo účel akcí není znám. Při promyšleném chování může organismus navrhovat své vlastní cíle a sestavovat nejvýhodnější plán akcí vedoucí k dosažení cíle. Plán akcí obsahuje parciální cíle, které jsou nezbytné k dosažení konečného cíle. Každý jednotlivý parciální cíl obsahuje sekvenci akcí, ve kterých jsou jednotlivé akce prováděny reaktivně na základě pravidel.

Konstruktivní chování zahrnuje dva základní aspekty. Za prvé, organismus je schopen vytvářet si model svého prostředí. Tento model znázorňuje, jak prostředí může reagovat a jak prostřednictvím specifických akcí může dojít k jeho změně dle přání a představ organismu. Za druhé, organismus může modelovat nejrůznější proveditelné akce k dosažení požadovaného cíle. Je zřejmé, že poznávací proces zde představuje fundamentální úlohu. K rozhodování, ke kterému plánu se agent rozhodne, pomáhá funkce intenzity úmyslu.

Část kódu programu, která následuje níže, ilustruje, jakým způsobem bylo modelováno konstruktivní chování. Vzhledem k podobnosti již uvedených ukázek implementace kontrolérů pro modelování chování dle PECS je tento úryvek kódu ponechán bez speciálního výkladu. Za zmínku stojí pouze upozornění, že zvolenou akcí je plán nikoliv jednorázová, atomická akce. Pro výpočet intenzity úmyslu bylo použito obecné pravidlo, kde hodnota intenzity úmyslu W odpovídá hodnotě funkce intenzity h , tedy platí $W = h(I_m, D, X)$, kde I_m vyjadřuje důležitost cíle, D je mírou určující vzdálenost od cíle a X reprezentuje libovolné další relevantní vlivy.

```

public class JRWcCommonAgentConstructiveBehaviourController {
    ...
    JRWcCommonAgent fCommonAgent;
    ...

    public JRWnCommonAgentAction resolveAction() {
        JRWnCommonAgentAction retVal = null;
        ...
        int locHighestWillIntenzity = 0;
        ...
        int locWillIntenzityToGetBetterEducation =
            resolveIntenzityToGetBetterEducation();
        if (locWillIntenzityToGetBetterEducation > 0){
            retVal = JRWnCommonAgentAction.PLAN_GET_BETTER_EDUCATION;
            locHighestWillIntenzity =
                locWillIntenzityToGetBetterEducation;
        }
        ...
        int locWillIntenzityToGetBetterSalary =
            resolveIntenzityToGetBetterSalary();
        if (locWillIntenzityToGetBetterSalary > locHighestWillIntenzity){
            retVal = JRWnCommonAgentAction.PLAN_GET_BETTER_SALLARY;
            locHighestWillIntenzity = locWillIntenzityToGetBetterSalary;
        }
        ...
        return retVal;
    }
    ...
}

```

Přemýšlivé chování je rozšířením již uvedeného modelu konstruktivního chování. Rozšíření spočívá v bohatších funkcích vyhodnocování vnitřního stavu a stavu prostředí.

Lidské bytosti se vyznačují několika příznačnými znaky, které stojí za zmínku:

- Je zřejmé, že člověk nejenom myslí, ale i pozoruje, dohlíží a kontroluje svůj vlastní myšlenkový proces.
- Člověkem prováděné akce nejsou vázány na pevně daný cíl. Člověk může nastavovat nové mety, rozmýšlet o nich a snažit se je ospravedlnit argumenty.

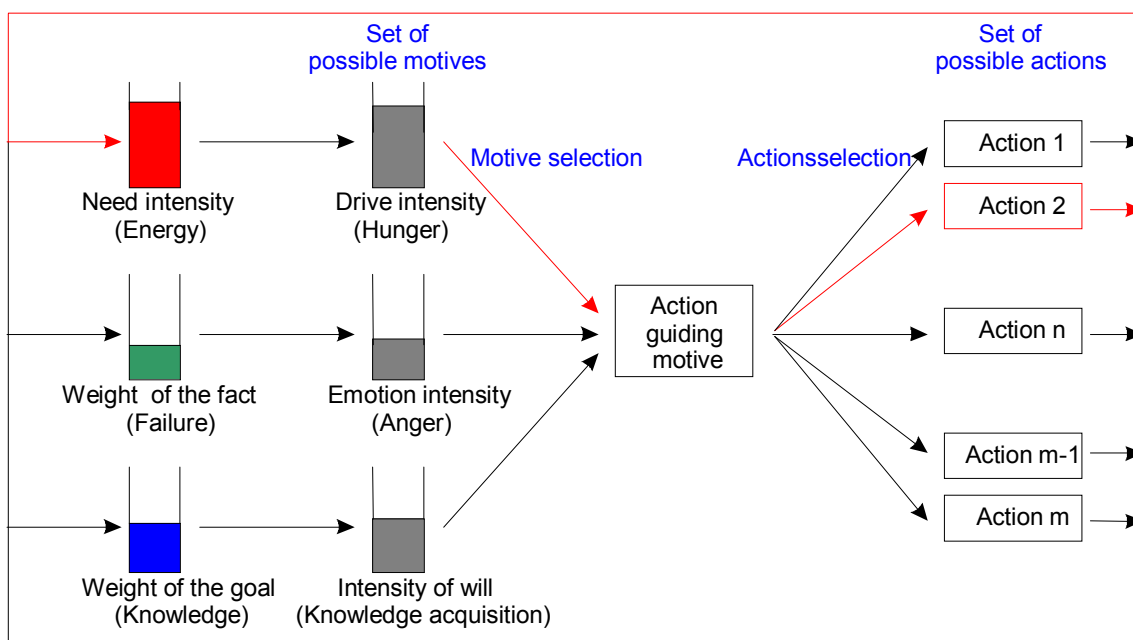
- Lidé jsou rozpačití, čímž je myšleno, že nevytvářejí model pouze svého prostředí, ale také model sama sebe. Lidské chování nezáleží jen na tom, co je pravdou o dané osobě, ale také co si daná osoba myslí, že je pravdou o ní.

Přemýšlivé chování tedy odráží nějaký intelektuální proces, který člověk zpětně ovlivňuje ve svém rozhodování.

Rozšíření na přemýšlivé chování nebylo v současné verzi simulačního programu implementováno. Pro mimořádnou složitost přesahující rozsah a možnosti diplomové práce.

Motivy a volba motivu

V některých případech je volba motivu a chování agenta přímo determinováno vnitřní stavovou proměnnou. To odpovídá obzvláště případům reaktivního chování. Obecně je však situace mnohem komplexnější. Chování je obvykle závislé na tendencích, přáních nebo potřebách. Takové závislosti se v modelu PECS uvažují jako pohnutky či motivy. Síla těchto pohnutek nebo motivů je funkcí vnitřních stavových proměnných, tedy vnitřní stavové proměnné nedeterminují chování přímo, ale nepřímo prostřednictvím pohnutek a motivů, které jim náleží. Motivy se mění kontinuálně s časem, soutěží mezi sebou a nejsilnější z motivů determinuje akci, kterou ve výsledku agent provede. Způsob jakým mezi sebou souvisí vnitřní stavové proměnné, intenzita motivů a výběr výsledné akce je naznačen na Obr. 2. Příklad uvedený na tomto obrázku ilustruje soupeření mezi třemi různými typy motivů.



Obr. 2 Motivy a volba motivů agenta v modelu PECS

Výběr akce a soutěžení motivů bylo implementováno, jak je naznačeno v uvedeném úryvku kódu. Instinktivní chování je nadřazeno všem soupeřícím motivům a nelze jej blokovat. Avšak není-li agent nucen jednat instinktivně, vstupují do výběru akce podmíněné jinými motivy. Tendencemi, emocemi, konstruktivním pochodem nebo sociálním vlivem podmíněné motivy mezi sebou soupeří v metodě *resolveActionToProcess(...)*.

```
JRWnCommonAgentAction locInstinctiveAction =
                                locInstinctiveBehaviourController.
                                    resolveAction();

    if (locInstinctiveAction != null) {
        return locInstinctiveAction;
    }
    ...
    JRWnCommonAgentAction locDriveControlledAction =
        locDriveControlledBehaviourController.resolveAction();
    JRWnCommonAgentAction locEmotionallyControlledAction =
        locEmotionallyControlledBehaviourController.resolveAction();
    JRWnCommonAgentAction locConstructiveControlleAction =
        locConstructiveBehaviourController.resolveAction();
    JRWnCommonAgentAction locSocialControlledAction =
        locSocialBehaviourController.resolveAction();
    ...
    return resolveActionToProcess(
        locDriveControlledAction,
        locEmotionallyControlledAction,
        locConstructiveControlleAction,
        locSocialControlledAction);
```

3.3 Volba programovacího jazyka a nástrojů

Jelikož byl přístup k cílovému modelu zvolen jako agentově orientovaný, odráží volba programovacího jazyka a nástrojů následující požadavky:

- nezávislost na hardwarové platformě a operačním systému,
- podpora vláknového programování,
- řešení výjimek,
- perzistence dat a funkcí,
- podpora agentových přístupů

Z výše uvedených důvodů a osobních zkušeností byl jako programovací nástroj zvolen jazyk Java. I když Java přímo nereflektuje agentově orientované přístupy, existuje množství vývojových prostředí, která implementaci agentově orientovaných aplikací nebo simulací umožňují. Jedním z takových vývojových prostředí je JADE.

JADE je platforma, která představuje dva hlavní aspekty: topologii distribuovaného systému s peer-to-peer komunikací a architekturu softwarových komponent obsahující základní agentové paradigma. Platforma JADE mimo jiné zaručuje schopnost užívat části nebo zařízení jiného systému, konkrétně vyhovuje standardu FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents). Mimo to je JADE Open Source projektem, což vzhledem k popularitě agentově orientovaných aplikací v komerčním prostoru (pokročilé business aplikace) zaručuje neustálý rozvoj této platformy. Podrobná dokumentace platformy JADE je volně dostupná například prostřednictvím sítě Internet, proto zde nebude dále komentována.

3.4 Cílová implementace

Tato podkapitola podrobně vysvětluje jakým způsobem byl model implementován. Jaké konkrétní parametry a vnitřní stavové proměnné má cílový model umělé lidské bytosti a jakým způsobem jsou řízeny.

3.4.1 Implementace prostředí

Prostředí modelu bylo navrženo jako systém, jehož základní strukturou je neformální síť souřadnic. Na každé definované souřadnici se může vyskytovat určitý počet objektů prostředí (objektem prostředí může být například strom, městská zástavba, apod. Omezení počtu objektů na jedné souřadnici se ponechává na programátorovi a konkrétní situaci.) Prostředí se dále bude nazývat svět. Instance takového světa je pak definována sítí souřadnic a její strukturou jako je sousednost souřadnic nebo jiná relace mezi souřadnicemi a svým obsahem, tedy množinou objektů, které se ve světě vyskytují. Svět také agreguje informace o objektech, které se v něm vyskytují, například jejich pozici. Výsledný svět byl navržen tak, že se může skládat s neomezeného počtu sítí souřadnic, přičemž jedna z nich je označena jako kořenová, každá další síť pak leží v nějakém uzlu (souřadnici) sobě nadřazené sítě. Takto vytvořená abstrakce byla navrhována pro rychlejší řešení některých situací v různých měřítcích. Například, budeme-li simulovat chování agenta v ulicích města, potom se agent pohybuje na potomku kořenové sítě (řekněme, že kořenová síť pokrývá celou Zemi na úrovni propojení obcí a měst), která zahrnuje spojení mezi jednotlivými křižovatkami ulic a významnými místy města. V momentě, kdy zmíněný agent vstoupí například do obchodu s potravinami, chceme jeho chování modelovat na úrovni takového obchodu. Chování agenta tedy bude modelováno v další souřadné síti, která leží v souřadnici nadřazené souřadné sítě.

Z těchto důvodů byl implementován abstraktní předek, z něhož jsou v projektu odvozovány všechny další souřadné sítě. Tento abstraktní předek obsahuje:

- obsah souřadné sítě implementovaný jako mapu, jejímž klíčem je souřadnice a hodnotou je pole objektů prostředí, které se nacházejí na dané souřadnici,
- relaci sousednosti všech souřadnic v této síti, tato relace je implementována jako mapa, jejímž klíčem je souřadnice a hodnotou množina všech sousedících souřadnic k této souřadnici,
- příznak, zda se jedná o kořenovou síť souřadnic.

Dále navržený abstraktní předek obsahuje metody pro přidání a odstranění podřadné sítě souřadnic a metody pro obsluhu objektů v síti souřadnic:

- přidání objektu na danou souřadnici,
- odebrání daného objektu z dané souřadnice,
- přesun daného objektu z dané souřadnice na cílovou souřadnici.

Geometrie souřadné sítě je definována relací sousednosti souřadnic. Nejjednodušší formou souřadné sítě, která byla v projektu testována je dvourozměrné pole připomínající čtvercovou mřížku o hraně délky a .

3.4.2 Implementace prvků prostředí

Vzhledem k tomu, že cílem této diplomové práce je modelovat chování člověka, jsou za prvky prostředí považovány běžné předměty, které známe z našeho okolí. Příkladem může být strom v parku, automobil, ale také třeba nákupní středisko.

Záměrem ve vytvořeném programu bylo, aby všechny prvky prostředí měli společného abstraktního předka, který byl definován následovně: *Prvek prostředí je obecná reprezentace jakéhokoliv objektu, který se může objevit v simulovaném prostředí. Je definován svojí pozicí, sférou působení, množinou objektů s nimiž může interagovat, množinou vlastností a svým životním cyklem.*

Pozice prvku prostředí odráží skutečnost, kde se prvek nachází v souřadné síti. Prvek může svou pozici v souřadné síti měnit během svého životního cyklu.

Sféra působení je oblast, která obklopuje prvek prostředí a determinuje jeho možnost interakce s okolními prvky prostředí. Cizí těleso se může nacházet ve třech stavech vůči sféře působení. Může se nacházet mimo sféru působení (kolize se neřeší), může se nacházet uvnitř sféry působení (kolize a vzájemná interakce prvků se musí řešit), anebo se může nacházet přesně na hranici sféry působení (kolize a interakce se musí řešit). V simulačním programu byly implementovány dvě plošné a dvě prostorové geometrické oblasti, které realizují sféru působení. Tyto geometrické oblasti jsou kruh, koule, čtverec a krychle. Jedna z těchto geometrických oblastí může být přidělena jako sféra působení libovolného prvku prostředí.

Množinou objektů s nimiž může prvek interagovat je registr, který má za úkol uchovávat identifikaci typů objektů s nimiž v případě konfliktu sfér působení může prvek interagovat. Tento návrh byl vytvořen ze zřejmého důvodu, že ne všechny prvky spolu zákonitě interagují.

Množina vlastností prvku prostředí odpovídá jeho vnitřnímu stavu a podmiňuje chování prvku. Za vlastnost lze považovat například hmotnost (ta může například podmiňovat jeho kinetickou energii a výsledné chování), nebo barvu, velikost, cenu, apod.

Životní cyklus definuje, jak se prvek prostředí bude chovat po dobu své existence. Implementace životního cyklu definuje změnu vnitřního stavu prvku, ale třeba i pohyb po souřadné síti anebo změnu prostředí, které prvek svojí existencí vyvolává. U většiny předmětů jako je třeba kámen nebo lavička v parku není třeba životní cyklus definovat. U složitějších předmětů, kde se očekává nějaká změna po dobu jeho existence je třeba životní cyklus konkrétně zadat. To se týká například rostoucího stromu nebo dopravního světelného značení, kde životní cyklus (změna barev značení) přímo může podmiňovat chování dalších entit v systému.

3.4.3 Implementace umělé lidské bytosti

Architektura a základní řídicí smyčka

Umělá lidská bytost byla implementována jako reaktivní agent s vrstvenou architekturou. Řízení chování umělé lidské bytosti vycházelo z referenčního modelu PECS. Agent je řízen dle základní smyčky, která má podobu:

```
state=c0
while 1 do
  percept=see();
  state=next_state(state,percept)
  action=select(percept,state);
  if action!=null do(action)
end
```

Algoritmus popisuje nekonečný cyklus v němž funkce *see* zajistí příjem vjemu, který je následně zpracován a spolu s aktuálním stavem agenta ovlivní vyhodnocení nového stavu v metodě *next_state*. Metoda *select* vybere nejvhodnější akci, která je propagována metodou *do* ke spuštění.

V návrhu modelu zastává uvedená základní smyčka chování agenta. Každému agentu je tedy připsáno chování, které je instancí potomka abstraktní třídy, která byla implementována, jak je uvedeno v následující ukázce zdrojového kódu.

```

public abstract class JRWcCommonAgentRoleContextBehaviour extends
                                                    Behaviour {

    ...

    protected final JRWnCommonAgentEvent percept(){
        return getCommonAgent().getAgentSensor().getEvent();
    }

    protected abstract JRWcCommonAgentState resolveAgentState(
        JRWcCommonAgentState aCurrentState,
        JRWnCommonAgentEvent aCommonAgentEvent);

    protected abstract JRWnCommonAgentAction selectAction(
        JRWcCommonAgentState aCurrentState,
        JRWnCommonAgentEvent aCommonAgentEvent);

    protected abstract void progressAction(JRWnCommonAgentAction aAction);

    /**
     * @see jade.core.behaviours.Behaviour#action()
     */
    public final void action() {

        /*
         * this is main reactive agent cycle
         */

        JRWnCommonAgentEvent locCurrentlyPerceptedEvent = percept();

        JRWcCommonAgentState locNewState = resolveAgentState(
            fAgent.getCurrentAgentState(),
            locCurrentlyPerceptedEvent);

        JRWnCommonAgentAction locAction = selectAction(locNewState,
                                                         locCurrentlyPerceptedEvent);

        progressAction(locAction);
    }

    ...
}

```

Role a cíle umělých lidských bytostí v modelu

Implementovaný model ve svém návrhu vycházel s obecného postupu při vytváření člověku podobného agenta. Vývoj agenta pak probíhá v šesti bodech:

1. *specifikovat co bude agent dělat,*
2. *popsat aktivity jako sekvenci akcí,*
3. *na základě popsanych aktivit určit senzory a jednoduché akce,*
4. *určit stavy, ve kterých může dojít k provedení jednoduchých akcí,*
5. *specifikovat a určit prioritu cílů a tendencí,*
6. *vybrat první modul a vyvíjet iterativním postupem.*

Návrh modelu definoval pro umělé lidské bytosti různé role, které reflektují jejich cíle. Implementace umožňuje umělé lidské bytosti měnit svoji roli a tím i měnit globální cíl. Následující tabulka přehledně ukazuje navržené role a aktivitu, kterou bude umělá lidská bytost vytvářet.

Tab. 2: Role agenta a jeho aktivita

<i>role</i>	<i>aktivita agenta</i>
místní autorita	spravovat město a řídit jeho vývoj
služby města - údržba	udržovat prvky města v provozu, odstraňovat závady
služby města - policie a záchranná služba	udržovat pořádek a zajišťovat záchranné akce
služby města - přeprava	zajišťovat přepravu
obchodník - spotřební zboží	prodávat spotřební zboží
obchodník - potraviny	prodávat potraviny
obchodník v zábavním průmyslu	poskytovat produkty zábavního průmyslu
stavitel	poskytovat výstavbu komunikací a budov
student základní školy	studovat základní školu
student střední školy	studovat střední školu
student univerzity	studovat univerzitu
jeden z rodičů	vychovávat a zaopatřovat dítě
zločinec	profitovat ilegálním způsobem

Mimo role uvedené v Tab. 2 se umělá lidská bytost může nacházet v základní obecné roli, která nemá za úkol plnění nijakých zvláštních cílů. V této obecné roli se nachází každý agent, který právě není v žádné z výše uvedených rolí v tabulce.

Návrh modelu předpokládá, že pro každou uvedenou roli musí být definována specifická třída implementující chování agenta. Chování agenta v některých rolích může být mnohdy celkem snadno definováno. Vhodným způsobem může být například implementace konečného automatu. Chování

agenta, který má roli prodavače v obchodě je v podobě konečného automatu jistě snadno představitelné a může sloužit jako ilustrativní příklad.

Přepínání mezi rolemi za běhu programu

Program byl navržen tak, aby každému agentu mohlo být připsáno více vzorců chování, tedy různé role, ve kterých se bude nacházet. Z tohoto důvodu má každý agent v každém okamžiku připsanou určitou roli. Každý vzorec chování je implementován v kontextu určité role a ze vzorce chování je možné tuto roli získat. Je-li agent spuštěn, je kontrolována jeho role a patřičný vzorec chování je aktivován, zatímco ostatní jsou potlačeny, resp. zastaveny. Tento přístup byl implementován způsobem naznačeným v následující ukázce kódu, která ilustruje výše zmíněný postup.

```
JRWcCommonAgentRoleContextBehaviour[] locAgentRoleContextBehaviours =
                                fAgent.getSubBehaviours();
JRWnCommonAgentRole locCurrentAgentRole = fAgent.getCurrentAgentRole();

for (int i = 0; i < locAgentRoleContextBehaviours.length; i++) {
    if (locAgentRoleContextBehaviours[i].
        getAgentRoleContext().equals(locCurrentAgentRole)) {
        if (!locAgentRoleContextBehaviours[i].isRunnable())
            locAgentRoleContextBehaviours[i].restart();
    }
    else {
        if (locAgentRoleContextBehaviours[i].isRunnable())
            locAgentRoleContextBehaviours[i].block();
    }
}
```

V cyklu jsou postupně iterovány přiřazené vzorce chování (metoda agenta *getSubBehaviours()* vrací na svém výstupu všechny vzorce chování, podle kterých se agent může chovat) a ty, které odpovídají dané roli jsou aktivovány metodou *restart()*. Vzorce chování, které nejsou dané roli adekvátní jsou potlačeny a zastaveny metodou *block()*.

Další prvky modelované umělé lidské bytosti

Dalšími prvky, které byly implementovány a které definují model umělé lidské bytosti jsou senzory, aktuální akce, aktuální role a aktuální vnitřní stav. Návrh realizace vychází z předpokladu, že všechny role umělých lidských bytostí budou potomky abstraktního předka, jehož součástí jsou výše uvedené čtyři prvky: senzory, aktuální akce, aktuální role, aktuální vnitřní stav. Protože simulace modelu může spouštět více paralelních procesů, které k těmto zmíněným atributům mohou po dobu běhu simulace přistupovat, implementace zajišťuje synchronizaci čtení a zápisu do těchto atributů, resp. z těchto atributů.

Senzor byl implementován jako třída, která poskytuje agentovi vjem z prostředí. Vnější prostředí nastavuje hodnotu senzoru, zatímco agent hodnotu senzoru zjišťuje a podrobuje dalšímu zpracování. Senzor specifikuje rozhraní agenta.

Aktuální akce vyjadřuje, jakou činnost právě agent vykonává a ovlivňuje jeho vnitřní stav jakožto i změnu prostředí.

Aktuální role vyjadřuje, v jaké roli se právě agent nachází. Význam role ve vztahu ke vzorci chování byl vysvětlen v předchozím textu.

Aktuální vnitřní stav, jehož struktura vychází z modelu PECS, v sobě zahrnuje fyzikální vlastnosti agenta, sociální statut, emoce a poznání. Celkový vnitřní stav agenta je tvořen složením všech čtyř typů stavů. Pro snadnější práci se stavy agenta byla v cílovém řešení navržena slovní reprezentace hodnoty stavové proměnné. Hodnota stavové proměnné je namísto kvantitativního popisu vyjádřena kvalitativně. Takovýto přístup umožňuje programátorovi snadnější orientaci a formulování pravidel pro řízení agenta mnohem průhlednějším způsobem. Například pravidla pro instinktivní řízení agenta potom mohou být formulována následovně bez jakýchkoliv číselných formulací v podmínce spuštění pravidla:

```
if (fAgent.getEnergy().isCriticalLow())
    eat(10);
if (fAgent.getEnergy().isLow())
    eat(5);
```

Uvedený příklad ilustruje situaci, kdy agent přijme větší množství potravy v případě kritické hodnoty jeho energie a menší množství potravy v případě nízké (avšak ne kritické) hodnoty jeho energie.

Fyzikální vlastnosti agenta definují jeho základní rysy, které podmiňují možnosti agenta. Za základní fyzikální vlastnosti byly zvoleny atributy uvedené níže v seznamu.

- Energie určuje aktuální stav energie, kterou agent disponuje. Dosáhne-li hodnota energie nuly, je agent považován za mrtvého a jeho chování zastaveno, existence je ukončena. Každá činnost, kterou agent může provádět mění hodnotu agentovi energie. Pozitivní přírůstek energie může být vyvolán akcemi jako *jíst*, *spát* a *relaxovat*. Ostatní akce jako například pohyb, únik, a podobně naopak agenta o určitou část energie připraví.
- Odolnost je mírou vytrvalosti agenta provádět různé aktivity. Čím vyšší má agent odolnost, tím nižší energetické náklady ho může stát provádění některých akcí.
- Obratnost stejně jako odolnost umožňuje agentovi dosáhnout nižších energetických nákladů při provádění některých akcí.
- Zásoba potravin definuje množství použitelné potravy k okamžitému doplnění agentovy energie.
- Zásoba finančních prostředků znamená množství peněz, které jsou potřebné k provedení některých akcí. Stejně jako u energie provedení akce *jíst* stojí nějakou část energie, stav

finančních prostředků také podmiňuje provedení určitých operací, jako je například doplnění zásoby potravin nebo návštěva lékaře, apod.

- Vybavenost blíže neurčitými prostředky. Tato forma abstrakce vyjadřuje vybavenost agenta blíže neurčitými prostředky jako například může být vybavení domácnosti nebo výstroj. Míra vybavenosti stejně jako zásoba financí podmiňuje proveditelnost specifických akcí.

Sociální statut je další proměnná určující aktuální vnitřní stav agenta. Sociální statut agreguje takové atributy agenta, jež nějakým způsobem charakterizují agenta v kontextu sociálního prostředí. Pro základní běh modelu byly zvoleny dvě takové charakteristiky:

- aktuální role agenta,
- počet přátel.

Aktuální role agenta vyjadřuje postavení agenta ve společnosti a může podmiňovat jakým způsobem bude agent interagovat s ostatními agenty. Mimo to aktuální role agenta podmiňuje jeho záměr ke změně své role či naopak setrvání ve své roli ve společnosti. Počet přátel také do jisté míry charakterizuje sociální postavení agenta ve společnosti. Počet přátel například může agenta ovlivňovat ke vzájemnému družení s ostatními agenty, touze poznat další přátele, a podobně.

Emoce mají podobný charakter jako fyzikální vlastnosti a také určují aktuální vnitřní stav agenta. Hodnoty emocí jsou reprezentovány slovně, podobně jako je přístup zvolený u fyzikálních vlastností. Emoce vyjadřují mentální stavy agenta a připisují agentovi povahové rysy, ze kterých se může odvíjet osobnostní ráz agenta. Mimo to emocionální vlastnosti podmiňují akce prováděné agentem a umožňují modelovat něco, co lze nazývat mentálními zkraty, které často můžeme pozorovat u lidí a považovat za iracionální jednání. Emotivní stavy mnohdy balancují na hraně čistě filozofických a psychologických vlastností, jako je například strach z pavouků nebo zamilovanost do jiné osoby. Z emotivních vlastností tedy plynou projevy, které jedna individualita bude požadovat za iracionální, zatímco druhá individualita je bude požadovat za přirozené. Emoce jsou podmíněny zejména událostmi z vnějšího prostředí, ale mohou být ovlivněny i dalšími uvedenými vlastnostmi určujícím agentův vnitřní stav. V programu byly implementovány základní emotivní vlastnosti, jejichž přehled je uveden v následujícím seznamu.

- Strach je vlastnost, jejíž hodnota je mírou reakce na určité vjemy, jejich trvání nebo doby, od které již tyto určité vjemy nebyly zaznamenány. Příkladem změny hodnoty strachu může být událost, kdy agent vidí zločince z nožem, po dobu trvání tohoto vjemu se může strach zvyšovat a agent na základě této emoce vykoná určitou akci (například uteče). Od doby, kdy agent naposledy viděl onoho hrozivého zločince se míra strachu snižuje a za určitou dobu agent již není ovlivňován toto emocí a vytváří jiné akce.
- Radost je vlastnost, jejíž intenzitu mění vjemy z okolního prostředí nebo odezva na určité akce, které agent provádí. Například, potká-li agent přátelského agenta, může se jeho radost zvýšit. Naopak, bude-li agent provádět nějakou akci neúspěšně, může se jeho radost snižovat. Míra radosti má také přímý vliv na emocemi podmíněné akce.

- Zloba je další vlastnost, která byla v modelu definována. Její význam a použití se podobá vlastnosti radost.
- Láska, podle toho jak byla definována v modelu, ovlivňuje akce prováděné agentem při setkání s osobou, ke které má agent citový vztah.
- Pocit blahobytu je poslední definovaná vlastnost, která může ovlivňovat emocemi podmíněné akce a byla začleněna do modelu. Pocit blahobytu vychází z materiálního zajištění agenta a jeho role, tedy není přímo ovlivněn nějakou externí událostí.

Poznání je poslední z použitých složek aktuálního stavu agenta. Vlastnost stav poznání odráží naučené vědomosti agenta a podmiňuje záměry agenta. Reprezentovat naučené vědomosti agenta, jeho zkušenosti, není triviálním problémem a v současné verzi práce není zahrnuta. Namísto toho byla vytvořena abstrakce, která charakterizuje míru znalostí a hodnotí ji číselným atributem. Tento atribut vyjadřuje obecnou znalost agenta. V programu bylo navrženo hodnocení báze znalostí takovýmto způsobem. Na základě množství faktů uložených v bázi znalostí je možno určit, potřebu pro získávání dalších faktů. Tento přístup však není vhodný, protože znalosti mají převážně kvalitativní charakter a kvantita není rozhodujícím faktorem stavu poznání. Pro ilustraci si představme agenta, v jehož bázi znalostí je celá řada případů předmětů padajících k zemi (jablko, kámen, vržená rukavice, apod.). Navržený způsob ohodnotí míru znalostí hodnotou odpovídající počtu případů. Jiný agent bude mít ve své bázi znalostí uložen jeden jediný fyzikální zákon o padajících tělesech. Je zřejmé, že taková znalost je kvalitnější než konečný počet případů v bázi znalostí prvního agenta. Vzhledem k výše uvedeným komplikacím nebyla tato složka aktuálního stavu agenta implementována exaktním způsobem. Pro chod simulace, však byl navržen způsob jak tento problém emulovat, a to pomocí dvou atributů:

- hodnotou obecných vědomostí a
- stupněm vzdělání agenta.

Hodnota obecných vědomostí vypovídá o kvalitě stavu báze znalostí. Stupeň vzdělání simuluje vzdělanost, stejně jako jí známe z lidských vzdělávacích systémů, tzn. vyjadřuje dosažené vzdělání jako dosažené základní, středoškolské nebo univerzitní vzdělání. Obě hodnoty ovlivňují volbu záměrů agenta a mohou tak určit plán, podle kterého bude agent postupovat. Například agent se základním vzděláním bude chtít dosáhnout vysokoškolského vzdělání, tudíž bude nucen do svého plánu aktivit zahrnout dokončení středoškolského vzdělání.

4 Výsledky

Tato kapitola uvádí jaká nastavení byla přiřazena před spuštěními simulace, jakým způsobem byla samotná simulace modelu spuštěna, jakým způsobem z této simulace byly získány výsledky a jakých výsledků bylo dosaženo.

4.1 Provedení simulace

Model prezentovaný v této diplomové práci byl formulován v programovacím jazyce Java. Celý program byl rozdělen do čtyř modulů.

- Modul definující rozhraní prostředí.
- Modul definující vnitřní implementaci prostředí.
- Modul definující agenta a jeho role.

Simulace byla provedena na modulu definujícím agenta a jeho chování. Tato simulace byla provedena pomocí programových prostředků pro testování modulů - knihovny JUnit. Třída pro testování agenta definuje počáteční hodnoty stavových proměnných agenta, vytváří instanci agenta a provede spuštění jeho chování. Tomuto agentu byla přiřazena třída, která paralelně s během jeho chování definuje vjemy na agentově senzoru, čímž je emulována interakce s vnějším prostředím. Tato emulace byla zvolena proto, že ve stávající verzi nebyl modul definující agenta a moduly definující prostředí integrovány v jeden celek.

4.1.1 Sběr dat za běhu simulace

Pro sběr dat byla do modelu implementována třída na zaznamenávání hodnot libovolných číselných proměnných a libovolných proměnných znakových řetězců. Zaznamenávány jsou dvě hodnoty, nezávislá proměnná a závislá proměnná. Třída pro sběr dat musí být zpřístupněna ve všech částech kódu, kde chceme data zaznamenávat. Každá dvojice proměnných, které mají být zaznamenávány, se musí nejdříve registrovat jednoznačným identifikátorem. Poté dvojice proměnných může být přidána a zaznamenána jako další prvky postupné řady. Spuštěním metody pro generování dat se pro každou registrovanou proměnnou vytvoří soubor s hodnotami oddělenými středníkem. Tyto vygenerované soubory pak lze například použít v nástrojích pro tvorbu grafů a znázornit průběhy zaznamenaných proměnných.

Za zvolené sledované hodnoty byly vybrány vnitřní stavové proměnné agenta, hodnoty některých řídicích proměnných, prováděné akce a vjemy na senzoru agenta. Výše uvedené sledované hodnoty byly zvoleny jako závislé proměnné a jako nezávislé proměnná byl zvolen čas. Tyto záznamy vedly ke tvorbě grafů, které jsou prezentovány dále v textu.

4.2 Nastavení při experimentu

Při provádění experimentů bylo stěžejním momentem nastavení počátečních hodnot stavových proměnných agenta. Byly to hodnoty fyzikálních vlastností, emocionálních atributů, parametry sociálního statutu, stav poznání, počáteční role a počáteční aktivita.

4.2.1 Proveditelné akce

Mezi další nastavení experimentu je nutno zahrnout také množinu proveditelných akcí. Třebaže jejich definice je zakořeněna mnohem hlouběji než parametry uvedené výše, tak množina proveditelných akcí výrazně ovlivňuje průběh experimentu. Množina proveditelných akcí je uvedena v tab. 3.

Tab. 3: Přehled proveditelných akcí

pohyb agenta v prostředí	příjem potravy	návštěva fit centra	následování plánu pro získání lepšího vzdělání
relaxace	probuzení se	únik před nebezpečím	následování plánu pro zlepšení příjmu finančních zdrojů
spánek	návštěva lékaře	následování agenta	následování plánu pro změnu role
pozorování okolí	návštěva obchodu s potravinami	věnování se práci	následování plánu pro setrvání v současné roli
nic nedělání	návštěva obchodu s blíže neurčitým vybavením		následování plánu jít na party

Jak je patrné z tabulky, proveditelné akce nejsou akce atomické a zahrnují v sobě sekvenci specifických úkonů. Realizovaný model definuje proveditelné akce z pohledu vyšší úrovně abstrakce, a proto nastavení experimentu odpovídá výše uvedeným neatomickým akcím. V posledním sloupci vpravo v tab. 3 jsou jisté specifické akce *následování plánů*. Je zřejmé, že sledovat jistý plán není čistě atomická akce, avšak z pohledu vyšší úrovně abstrakce můžeme takový akt vnímat jako jednoduchou akci. Stejně jako u atomické akce je sledování plánu až k dosažení cíle činnost s počátkem a koncem ohraničená časem.

4.2.2 Vjemy z prostředí

Stejně jako množina proveditelných akcí, tak i množina možných vjemů agenta ze systému specifikují nastavení experimentu. Emulátor prostředí v simulaci postupně nastavoval na senzor agenta různé události v různých časových okamžicích. Přehled možných vjemů ze systému, které agent může senzoricky zachytit je v uveden v tab. 4.

Tab. 4: Přehled možných vjemů zachytitelných na senzoru agenta

interakce s neznámým předmětem	zaznamenat provedení úspěšné činnosti
interakce se známým předmětem	zaznamenat provedení neúspěšné činnosti
interakce se známým nebezpečným předmětem	zaznamenat zábavnou aktivitu
interakce s neznámým člověkem	zaznamenat nezábavnou aktivitu
interakce se známým člověkem	západ slunce
spatřit nebezpečí	východ slunce
spatřit zločince	nic nepozorovat

4.3 Výsledky simulace

Výsledky simulace jsou prezentovány v podobě grafů závislostí vnitřních stavových proměnných agenta na čase. Ze zobrazených průběhů lze sledovat vlastnosti agenta, jím zvolené akce a zaznamenané vjemy na senzorech. Taková data můžou sloužit k analýze chování agenta. Chování lze analyzovat ze dvou různých úhlu pohledu.

Výsledkem analýzy prvního úhlu pohledu je závěr o správnosti nastavení pravidel řízení agenta tak, aby věrně kopíroval chování skutečných lidí. K takovému rozboru je potřebný vzorek lidských jedinců, kteří by byli pozorováni při stejných aktivitách a bylo by sledováno jejich chování. Výsledky simulace v porovnání s přímým pozorováním by potom mohly naznačit použitelnost modelu pro simulování reálných situací.

Druhý úhel pohledu vychází z předpokladu věrohodnosti modelu umělých lidských bytostí ve virtuálním prostředí. Data získaná ze simulace modelové situace z reálného světa by pak mohla sloužit k analýze vývoje sledovaných umělých lidských bytostí, aniž by bylo nutné provádět mnohdy těžko realizovatelný experiment (například chování lidí v dosud nepostaveném sídlišti).

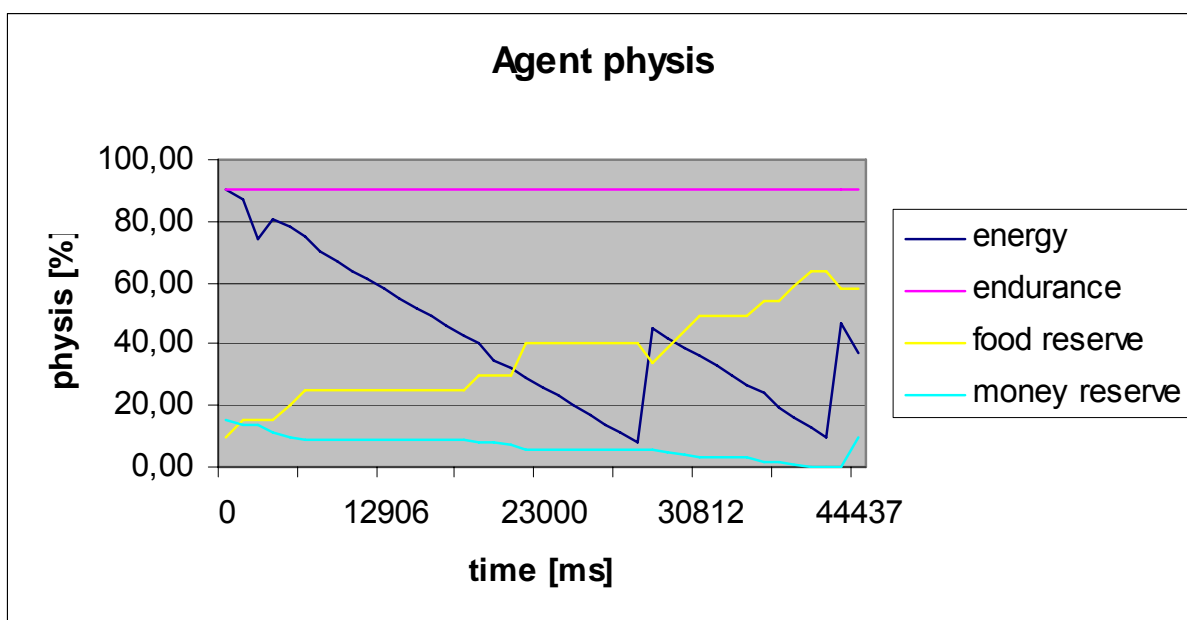
Vzhledem k tomu, že vytvořený model se neopírá o empirické poznatky lidského chování, ale pouze nabízí architekturu pro modelování umělých lidských bytostí, nelze z prezentovaných výsledků vytvářet nějaké obecné závěry. Výsledky mají ilustrativní charakter o chování agenta.

4.3.1 Změny vnitřního stavu

Změny vnitřního stavu agenta jsou vyvolávány aktivitami, které agent během své existence vykonává. Obr. 3 zobrazuje průběh čtyř atributů z množiny fyzikálních vlastností agenta. Zobrazeny jsou průběhy energie (energy), vytrvalosti (endurance), množství jídla v zásobě (food reserve) a množství finančních prostředků v zásobě (money reserve).

Poklesy energie jsou způsobeny prováděním energií snižujících aktivit a její prudké vzestupy jsou vyvolány příjmem potravy agentem.

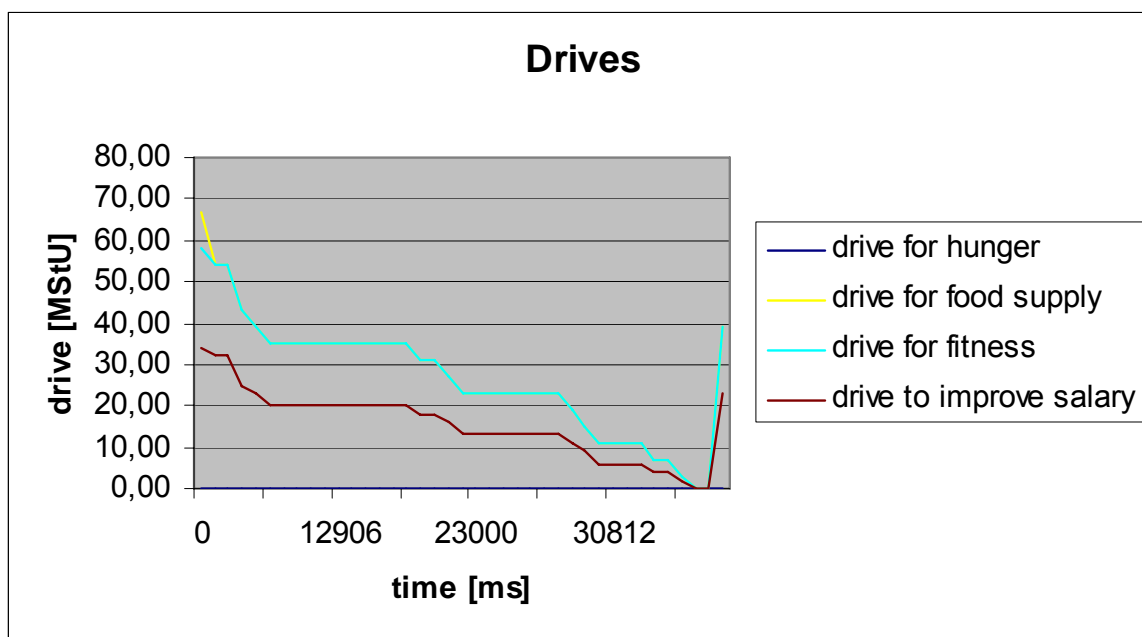
Z grafu je patrné, že agent si vytvářel zásobu potravin, což mu zapříčiňovalo jistý úbytek finančních prostředků. Na konci časového průběhu je patrné, že stálý úbytek finančních prostředků vedl agenta k akci, která finanční prostředky opět zvýšila.



Obr. 3 Graf změny fyzikálních vlastností agenta v čase

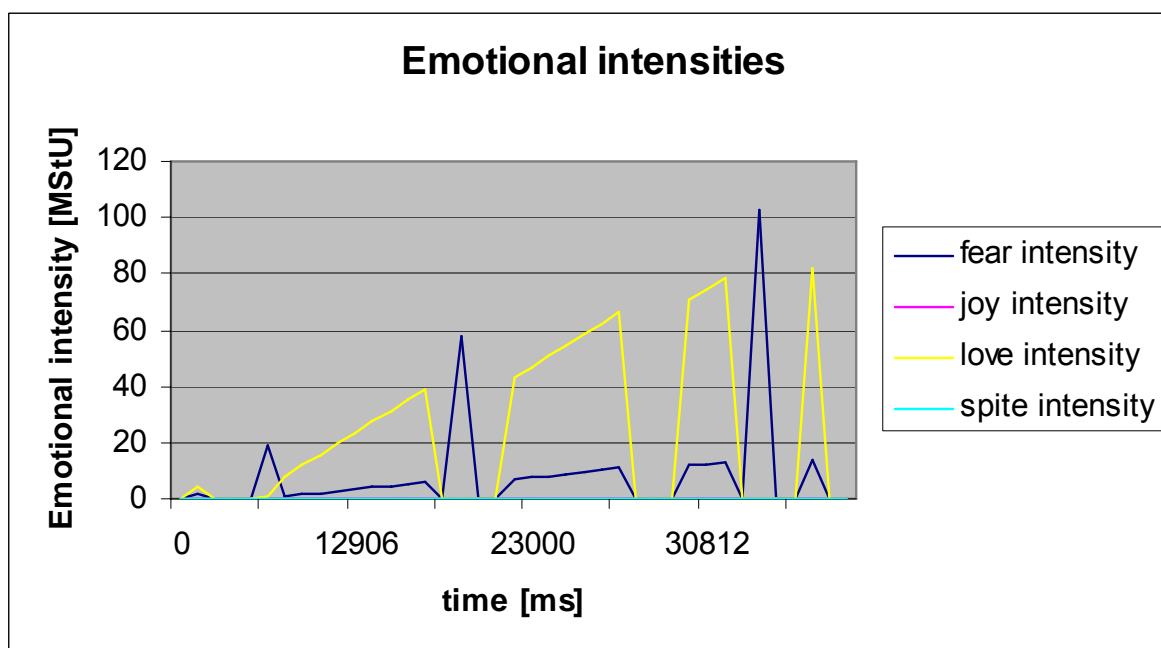
4.3.2 Průběh řídicích proměnných

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, chování umělé lidské bytosti bylo implementováno dle referenčního modelu PECS. Volba záměrů a cílů je v modelu PECS závislá na míře intenzity záměru nebo na míře intenzity emoce a dalších, jak je uvedeno v teoretickém popisu. Obr. 4 ukazuje jeden z možných průběhů vybraných intenzit tendencí vykonat jistou akci. Jak je vidět, na začátku časového průběhu je nejsilnější intenzita pro volbu akce *doplnění zásob potravin*. Ze stoupajícím množstvím zásob tato tendence slábne a na stejnou úroveň se dostává tendence navštívit fit centrum. V závěru časové řady prudce narůstá tendence zajistit si příjem finančních prostředků. Tento razantní vzestup je pravděpodobně ovlivněn nízkou hodnotou aktuálního stavu finančních prostředků agenta.



Obr. 4 Graf vývoje intenzity tendencí k výkonu specifických akcí

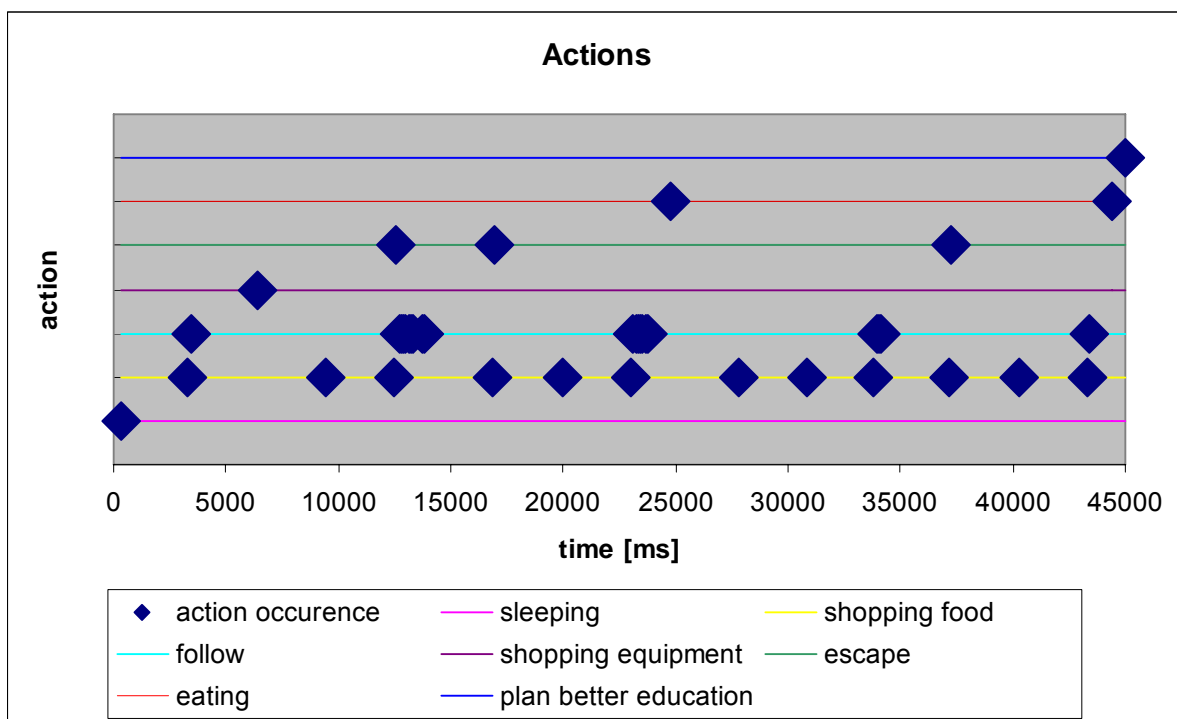
Dalšími řídicími proměnnými, které určují chování agenta, jsou intenzity emoce. Příklad průběhu vybraných intenzit emocí je na Obr. 5. Emoce jsou většinou reakcí na vnější podnět, takže z uvedených průběhů lze odvozovat závěry o možných vnějších vlivech. V grafu je nejpatrnější intenzita strachu a lásky, které se navzájem střídají. Bude-li agent více emotivnější a volit své akce na základě intenzit emocí, je patrné že se budou střídat akce jednou podmíněné láskou a jindy strachem.



Obr. 5 Graf vývoje intenzity emocionálních motivů

4.3.3 Aktivity a vjemy

Poslední zaznamenávané hodnoty z průběhu simulace jsou aktivity agenta vynesené na časovou osu a vjemy, které agent zaznamenal v průběhu běhu simulace. Příklad na Obr. 6 zobrazuje agentem vykonané aktivity. Barevná značka znázorňuje provedení akce pro daný časový okamžik. Barevné linie reprezentují různé proveditelné akce. Z grafu lze vyčíst následující informace o agentově průběhu: agent na počátku simulace spal, potom se probрал ze spánku, vydal se nakupovat potraviny, poté následoval jiného agenta, se kterým interagoval a poté se vydal nakupovat nějaké vybavení či výstroj. Tento případ reprezentují první čtyři modré značky.

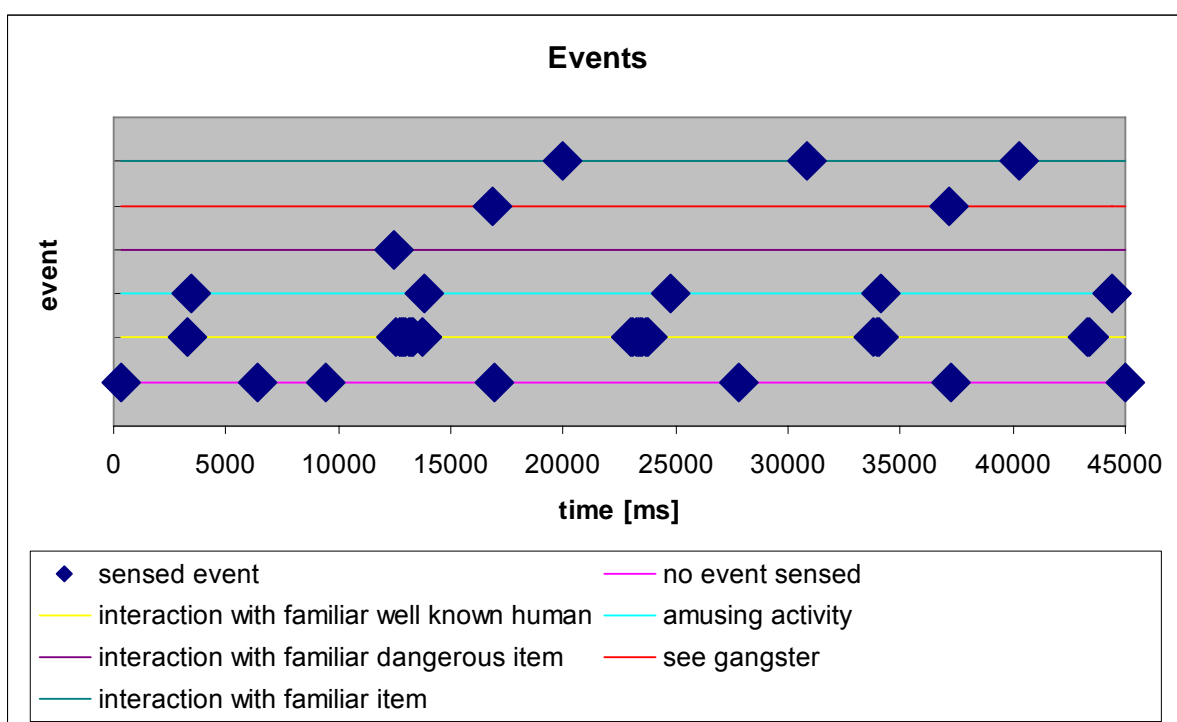


Obr. 6 Aktivity agenta na časové ose

Grafická reprezentace výsledků běhu simulace na Obr. 7 ilustruje zaznamenané vjemy na senzoru agenta. Modrá značka označuje výskyt vjemu v daný časový okamžik a barvené úrovně označují typ vjemu. Obrázek ilustruje případ ze stejného běhu simulace jako jsou zvolené akce agenta na Obr. 6. Porovnáním obou grafických reprezentací je možné provádět analýzu adekvátnosti akcí na vnější podnět. Takovýmto způsobem je možné přemýšlet o racionalitě či věrohodnosti chování simulované umělé lidské bytosti.

Z výsledků simulace lze sledovat, jestli agent reagoval adekvátně na podněty z okolí a na jeho vnitřní stav. Z grafu vjemů a grafu akcí lze například vyčíst, že při spatření zločince agent volil akci útěk, stejnou akci zvolil i při spatření nebezpečného předmětu (například hořící nádoby z benzinem). Setkání agenta s jiným spřáteleným agentem jej vedlo k akci *následovat*, to můžeme interpretovat

jako situaci, kdy potkáme kamaráda chceme s ním zajít na pivo. Mimo reakcí na podněty z vnějšího okolí agent volil akce na základě jeho vnitřního stavu. Příkladem může být akce *jíst*, kterou agent provedl instinktivně na základě kritické hodnoty energie (porovnej Obr. 3 Graf změny fyzikálních vlastností agenta a Obr. 6 Aktivit agenta). Z grafu provedených akcí (Obr. 6) je patrné, že agent opakovaně prováděl akci *nakupování zásob potravin*. K takovému jednání ho vedly tendence, jejichž průběh je na Obr. 4. Tendence k nakupování zásob potravin zde má stejný průběh jako tendence ke zlepšení zdatnosti agenta, avšak má vyšší prioritu, proto ve výsledku agent nakupoval. Graf aktivit agenta na Obr. 6 ukazuje příklady, kdy volba akce byla provedena na základě instinktu (*jíst*), na základě vnější události (*únik před zločincem*), na základě tendence (*nákup potravin*) a na základě stavu poznání agenta (*volba řídit se plánem pro získání lepšího vzdělání*).



Obr. 7 Vjemy na senzoru agenta na časové ose

5 Závěr

Předložená diplomová práce předložila postup, jak vytvořit model lidského chování ve virtuálním prostředí. Model vytvořený takovýmto postupem však není zcela plnohodnotný, a proto jej lze klasifikovat pouze jako příspěvek ve studiu dané problematiky.

Implementovaný model ověřil možnost využít referenční modelu PECS jako vhodnou metodiku pro modelování lidského chování. Volba programovacích nástrojů JADE a programovacího jazyka Java určitě nestaví navrženou implementaci na slepou vývojovou větev, zejména pro stále rostoucí popularitu už dnes velmi rozšířeného a využívaného jazyka.

Výsledky simulace ukázali, že navržený agent (umělá lidská bytost) je schopen adekvátních reakcí na podněty z prostředí. Na základě svého vnitřního stavu a okolních podnětů volí akce, které ho vedou k dosažení zvolených cílů.

Zvolený referenční model PECS se ukázal jako vhodný prostředek pro realizaci modelování lidského chování.

Protože diplomový projekt zpracoval pouze nepatrnou část rozsáhlé problematiky, nabízí se dostatečný prostor pro další práci. Zejména rozšíření na multiagentový systém s více umělými lidskými bytostmi. Teprve model rozšířený na více agentů by umožnil sledovat sociální aspekty agentů ve zvoleném prostředí.

Literatura

- [1] ARKIN, Ronald C. *Behavior-Based Robotics*. Edited by Ronald C. Arkin. 2nd edition. Cambridge, Massachusetts : The MIT Press, 1998. x, 491 s.
- [2] Bonebau E. W., Theraulaz G.: Why we do Need Artificial Life. *Artificial Life (An Overview)*, (Langton Ch. ed.) Cambridge, Massachusetts : The MIT Press, 1995, s. 303-325.
- [3] BRYSON, Joanna J. *Modular Models of Social Agents : Modelling the Emergence of Macaque Social Structure*. [s.l.], [2002?]. 23 s. University of Bath, Department of Computer Science. Referát. Dostupný z WWW: <<http://www.cs.bath.ac.uk/~jjb>>
- [4] KUBÍK, Aleš. *Inteligentní agenty : tvorba aplikačního software na bázi multiagentových systémů*. Redaktor Ivo Magera. 1. vyd. Brno : Computer Press, 2004. 280 s. ISBN 80-251-0323-4
- [5] MAŘÍK, Vladimír, ŠTĚPÁNKOVÁ, Olga, LAŽANSKÝ, Jiří a kolektiv. *Umělá Inteligence (3)*. Redaktor Mgr. Aleš Baďura. 1. vyd. Praha : Akademie věd České republiky, 2001. 328 s. ISBN 80-200-0472-6
- [6] SCHMIDT, Bernd. *The modelling of Human Behaviour*. Ghent (Belgium) : SCS-Europe BVBA, 2000. 98 s.
- [7] SCHRÖDINGER, Erwin. *Co je život? Duch a hmota. K mému životu*. Přeložil Martin Černohorský, Marie Fojtíková. 1. vyd. Brno : VUTIUM, 2004. 254 s. Quantum; sv. 2. ISBN 80-214-2612-8
- [8] ZBOŘIL, František. *Plánování a komunikace v multiagentních systémech*. [s.l.], c2004. 92 s. Vysoké Učení Technické V Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí dizertační práce doc. Dr. Ing. Petr Hanáček.
- [9] ZBOŘIL, František. *Agentní a multiagentní systémy: AGS (modu 1) Studijní opora*. [s.l.], c2006. 62 s. Vysoké Učení Technické V Brně, Fakulta informačních technologií.
- [10] ZBOŘIL, František. *Agentní a multiagentní systémy: AGS (modul 2) Studijní opora*. [s.l.], c2006. 65 s. Vysoké Učení Technické V Brně, Fakulta informačních technologií.

Seznam příloh

Příloha 1. CD se zdrojovými texty simulačního programu.